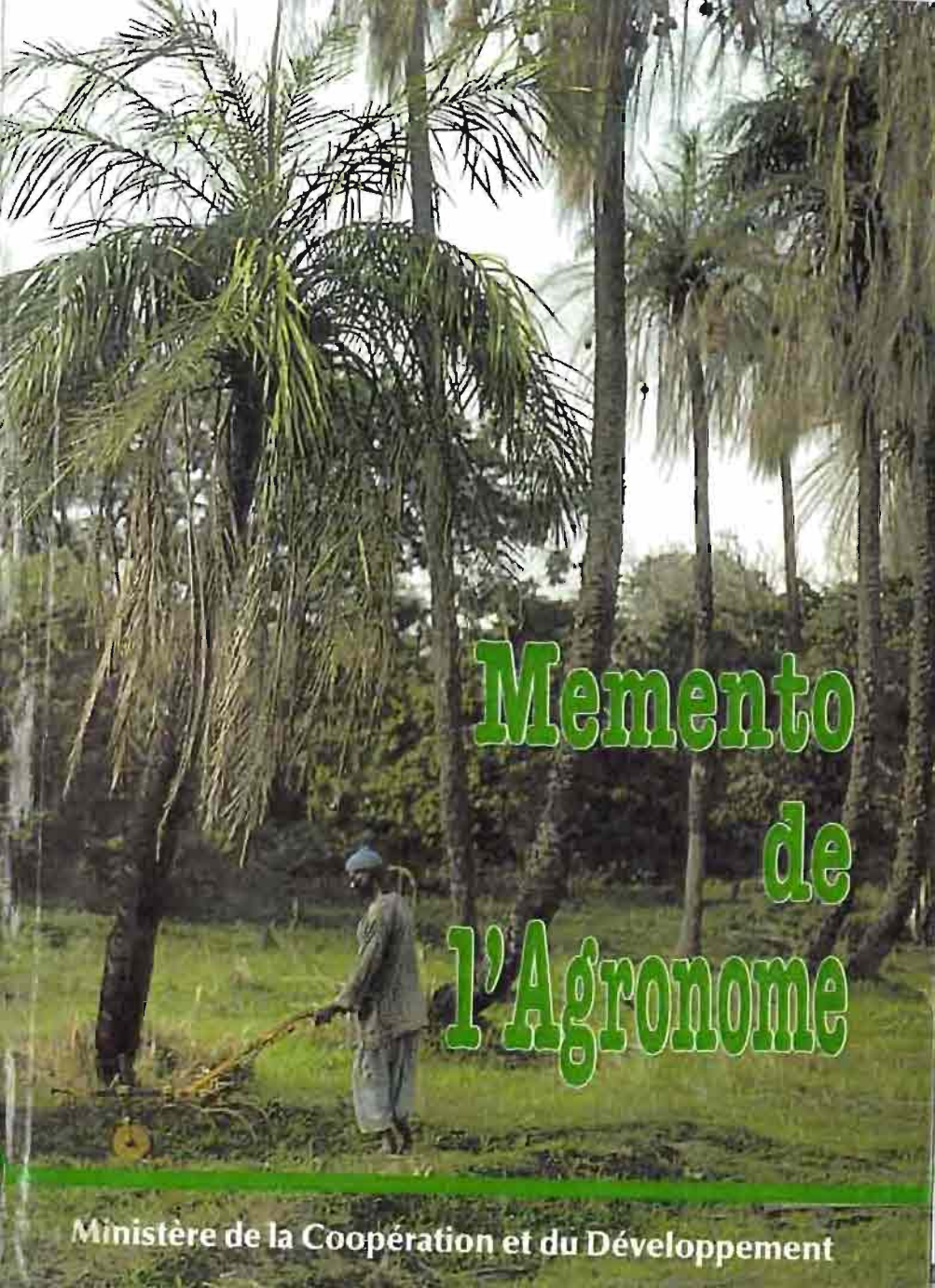


Memento de l'Agronome

Ministère de la Coopération et du Développement

"Nous n'héritons pas la terre de nos parents, nous l'empruntons à nos enfants".

Proverbe africain

"Je chante dans mon chant tous les travailleurs noirs et tous les paysans pêcheurs pasteurs (...)
Les voilà qui arrondissent greniers et cases
qui revigorent filets et flottes de pirogues
raniment les troupeaux sous l'harmattan"

L.S. Senghor - Elégie des alizés

MÉMENTO
DE L'AGRONOME

Tous droits d'adaptation, de traduction et reproduction par tous procédés
y compris la photographie et le microfilm, réservés pour tous pays.

© Ministère de la Coopération - 1968, 1974, 1980, 1984.

© Ministère de la Coopération et du Développement 1991.

ISBN 2-11-086725-6

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION ET DU DÉVELOPPEMENT

MÉMENTO DE L'AGRONOME

Quatrième édition

Collection « Techniques rurales en Afrique »
ISSN : 0336-3058

AVERTISSEMENT AU LECTEUR

Cette quatrième édition revue et augmentée du Mémento de l'Agronome fait suite aux éditions de 1968, 1974, 1980 et 1984 et propose une synthèse des connaissances de base, à la fois scientifiques et techniques, plus particulièrement destinée aux pays africains et malgache, dans les domaines de l'agriculture tropicale, des productions animales, du développement rural et de la défense de l'environnement.

Cette édition est le fruit d'un travail associé d'ingénieurs et de chercheurs des instituts du CIRAD (CEEMAT, CTFT, DSA, IEMVT, IRAT, IRCA, IRCT, IRFA, IRHO, PRIFAS), de l'ORSTOM, de BDPA-SCETAGRI, du GRET, coordonné par les responsables de la Sous-Direction du Développement rural du Ministère de la Coopération et du développement.

SOMMAIRE

Première partie : AGRICULTURE GÉNÉRALE

Chapitre 1 – Connaissance des Agricultures africaines 9
Chapitre 2 – Climat 45
Chapitre 3 – Topographie 97
Chapitre 4 – Télédétection 115
Chapitre 5 – Sols 134
Chapitre 6 – Conservation des sols 187
Chapitre 7 – Fertilisation 223
Chapitre 8 – Produits de lutte anti-parasitaire 253
Chapitre 9 – Production de matériel végétal 303
Chapitre 10 – Irrigation-drainage 321
Chapitre 11 – Machinisme 373
Chapitre 12 – Construction 501
Chapitre 13 – Agroforesterie 574
Chapitre 14 – Pépinières et plantations 614

Deuxième partie : AGRICULTURE SPÉCIALE

Chapitre 15 – Cultures spéciales 641

I – Plantes amylacées 642
Arrow-Root. Graminées alimentaires. Igname. Maïs. Manioc. Mil. Sorgho. Taro.

II – Plantes à caoutchouc 731
Hévéa. Guayule

III – Plantes à épices 748
Cannelier. Cardamones. Curcuma. Gingembre. Giroflier. Muscade. Piment. Poivrier. Vanillier.

IV – Plantes à fruits (principales) 767
Agrumes. Anacardier. Ananas. Avocatier.

V – Plantes insecticides 833
Pyrèthre.

VI – Plantes légumières 838
cultures légumières :
Amarante. Aubergine. Baselle. Chayotte ou chouchoute. Chou vert. Chou palmiste. Gombo. Laitue. Niébé. Oignon. Piment. Pois du Cap. Poireau. Poivron. Pousse de bambou. Tomate. Voandzou.

VII – Plantes médicinales 864

VIII – Plantes oléifères 864
Aleurites. Arachide. Carthame. Cocotier. Karité. Palmier à huile. Ricin. Sésame. Soja. Tournesol.

IX – Plantes à parfum 932
Badiane. Citronnelle. Eucalyptus. Géranium (Rosat). Lemon Grass. Patchouli. Les résines à parfum. Vétiver. Ylang-Ylang.

X – Plantes saccharifères 938
dont canne à sucre

XI – Plantes stimulantes 957
Cacaoyer. Caféier. Colatier. Guarana. Maté. Tabac. Théier.

XII – Plantes tannifères – Plantes tinctoriales 1013

XIII – Plantes textiles. Plantes à fibres 1015
Abaca. Cotonnier. Kenal. Jute. Kapokier (ou fromager). Ramie. Raphia. Rônier. Roselle. Rotins. Sisal. Urena ou Paka.

Troisième partie : ÉLEVAGE

Chapitre 16 – Alimentation du bétail et ressources fourragères 1053
Chapitre 17 – Zootechnie 1119
Chapitre 18 – Hygiène et pathologie 1209
Chapitre 19 – Aviculture 1259
Chapitre 20 – Apiculture 1301
Chapitre 21 – Pisciculture 1321

Quatrième partie : ÉCONOMIE RURALE

Chapitre 22 – Économie rurale 1343
Chapitre 23 – Élaboration de projets 1395
Chapitre 24 – Éléments de comptabilité d'entreprise 1416
Chapitre 25 – Application de la statistique en agriculture tropicale 1431
Chapitre 26 – Formulaires 1489

ANNEXES

Annexe 1 : Généralités géographiques succinctes 1527
Annexe 2 : Bibliographie - Revues 1545
Annexe 3 : Sigles 1589
Annexe 4 : Adresses 1598
Annexe 5 : Index général 1601

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

AGRICULTURE GÉNÉRALE

PRÉSENTATION DES AGRICULTURES AFRICAINES

CLIMAT

TOPOGRAPHIE

TÉLÉDÉTECTION

SOLS

CONSERVATION DES SOLS

FERTILISATION

PRODUITS DE LUTTE ANTI-PARASITAIRE

PRODUCTION DE MATÉRIEL VÉGÉTAL

IRRIGATION-DRAINAGE

MACHINISME

CONSTRUCTION

AGROFORESTERIE

PÉPINIÈRES ET PLANTATIONS

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DES AGRICULTURES AFRICAINES

Au cours des vingt dernières années, les études réalisées et les projets de développement mis en œuvre dans le secteur rural ont permis :

— d'accumuler une somme de connaissances sur les agricultures tropicales, notamment africaines ;

— d'acquérir une certaine expérience des actions de développement.

Il est apparu intéressant d'en résumer, sans plus attendre, les principales conclusions. C'est l'objet de ce chapitre, dans lequel on trouvera :

— dans une première partie, une synthèse des connaissances des principaux types d'agriculture en Afrique ;

— dans une seconde partie, les enseignements de cette expérience, en privilégiant les aspects pratiques et méthodologiques, les plus directement utilisables par les personnes intervenant sur le terrain. La consultation des ouvrages cités en bibliographie permettra d'obtenir, si nécessaire, les fondements théoriques des approches présentées.

I

LES PRINCIPAUX TYPES D'AGRICULTURES EN AFRIQUE

Les grands systèmes agraires africains sont présentés de manière à mettre en évidence leurs *caractères fondamentaux,* mais surtout la logique de *leur dynamique d'évolution* et les perspectives de développement dans le cadre de ces contraintes.

1. LES SYSTÈMES CÉRÉALIERS SAHÉLIENS

Ces systèmes concernent la partie nord de l'Afrique de l'Ouest, entre la Mauritanie et le Sénégal à l'ouest et le Tchad à l'est, en passant par le Mali, le Burkina Faso et le Niger.

Situés dans des régions faiblement arrosées (de 400 à 700 mm annuels), ces systèmes sont soumis à une forte variabilité inter-annuelle du régime

pluviométrique ainsi qu'à une baisse notable des hauteurs d'eau depuis vingt ans.

Ainsi, dans le Yatenga (Burkina Faso) : moyenne de 1920 à 1970 = 735 mm ; moyenne de 1965 à 1984 = 593 mm.

De plus, les précipitations sont regroupées en une seule saison (juillet à septembre), couramment appelée « hivernage ». Il s'agit de systèmes agraires ayant à faire face à de fortes contraintes d'ordre climatique.

1.1. Les systèmes de production : gérer l'insécurité climatique

Les systèmes culturaux sont dominés par l'alternance d'une céréale, mil ou sorgho, avec une jachère pendant laquelle les herbes sauvages et les espèces arbustives occupent le milieu.

L'essentiel de l'activité agricole est consacré à l'implantation et à la conduite de la céréale avec laquelle on vise la satisfaction des besoins alimentaires du groupe familial.

La nature de cette céréale - mil ou sorgho - est variable selon la vigueur des contraintes climatiques : le mil domine dans les régions les plus sèches, alors que le sorgho est préféré là où la pluviométrie est supérieure à 600 mm ou sur les dépressions à sols plus argileux.

Leur importance dans l'assolement dépasse 80 %.

Le reste des emblavements se partage entre des céréales secondaires (sorgho rouge, maïs remplacé par le niébé, fonio, riz) et des cultures de rente (coton ou arachide). Si l'on se réfère aux temps de travaux, les céréales absorbent, dans certains cas, 90 % du total mis en œuvre sur l'exploitation.

La durée respective des périodes de jachère et de culture dépend, bien entendu, de la pression humaine sur le milieu. Il y a classiquement plusieurs années de jachère qui succèdent à plusieurs années de culture ; lorsque la pression est très élevée ou le milieu fortement dégradé, la jachère peut quasiment disparaître : elle n'est plus que de 1 à 5 ans pour 10 à 15 ans de culture dans le centre du Yatenga (Burkina Faso).

Au zonage spatial en vigueur au début du siècle se substitue progressivement un espace cultivé où les itinéraires techniques s'uniformisent. Il devient difficile de distinguer une terre en jachère qui entre en rotation et une terre délaissée car plus assez productive.

1.1.1. LES TECHNIQUES CULTURALES

Tous les travaux sont réalisés manuellement.

a) Mise en place de la céréale

Si la céréale vient après une période de non-culture, la parcelle est pâturée pour détruire la strate herbacée et un passage de coupe-coupe élimine les repousses arbustives.

Dans le cas de la culture continue, la parcelle est pâturée et les tiges issues des poquets sont déterrées et abattues afin d'éliminer les systèmes racinaires.

Il n'y a pas d'autre travail du sol.

Le mil (ou le sorgho) est donc semé en poquets dès l'apparition d'un front d'humectation suffisant dans le sol, sans autre préparation.

Comme les pluies sont très aléatoires en début de saison, il est fréquent que les paysans aient à refaire plusieurs fois les semis. Or, compte tenu de la courte durée de la saison, le succès d'un semis précoce est souvent la condition d'un bon rendement. Le faible coût de la semence, ainsi que des temps de travaux réduits (8 à 9 heures par hectare) expliquent que les paysans tentent ainsi leur chance à plusieurs reprises.

b) Entretien de la céréale

La céréale est ici une plante sarclée et *c'est la main-d'œuvre disponible pour cette opération qui détermine la taille des emblavures.*

Dans la répartition des temps de travaux, le sarclage est le facteur limitant l'extension des superficies cultivées par actif (57 % du temps de travail total, 28 % allant à la récolte et 15 % au semis).

En réalité, il est fréquent que les paysans sèment des superficies supérieures à ce qu'ils sarclent effectivement. La priorité de sarclage est alors accordée aux parcelles qui ont le mieux réussi (calage du semis par rapport aux pluies).

Avec le succès du semis précoce, l'intervalle semis-premier sarclage est le second facteur explicatif du rendement final.

Les rendements à l'hectare sont faibles : de l'ordre de 2 qx/ha pour le mil et 4 qx/ha pour le sorgho.

En réalité, la majeure partie des rendements est souvent inférieure à 2 qx/ha.

La production (toutes céréales confondues) ramenée à l'habitant est encore plus faible : 1,4 q en 1977 et 1,7 q en 1978 dans l'Oudalan (nord Burkina Faso).

1.1.2. L'INTÉGRATION DE L'ÉLEVAGE

Deux types d'élevage coexistent dans les zones sahéliennes :

— l'élevage semi-nomade des Peuls ;

— l'élevage des agriculteurs.

Pour les premiers, il s'agit de l'activité principale sous forme d'un pâturage extensif de l'espace par leur propre cheptel et par celui des agriculteurs qui confient leur bétail par manque de main-d'œuvre, ou par manque de fourrage sur place.

Pour les seconds, il s'agit avant tout d'une épargne (rarement moyen de traction) facilement mobilisable pour le petit bétail ou d'accumulation durable pour les bovins.

La conduite de l'élevage se base sur une gestion serrée des ressources végétales du milieu :

— les herbages des terres en jachère ou non cultivées assurent l'alimentation du troupeau pendant l'hivernage ;

— les résidus de récolte (1 à 3 t/ha) sont pâturés entre novembre et février ;

— la soudure, entre février-mars et juin-juillet, est le moment le plus difficile pour les animaux.

L'élevage permet dans une certaine mesure un apport de matière organique mais reste limité par la production de la matière sèche totale dans l'écosystème :

— faible s'il s'agit du pâturage sur les résidus de récolte (pas de transfert de fertilité) ;
— important sur les lieux de parcage mais cette accumulation est maintenant utilisée sur un trop grand espace pour avoir une réelle efficacité sur le potentiel de production agricole.

1.2. Dynamique des systèmes sahéliens et perspectives de développement

Plusieurs facteurs pèsent sur l'évolution de ces agricultures :

— la croissance démographique ;
— la dégradation des conditions climatiques.

Face à ces contraintes, l'extensification des systèmes de culture est une constante, et la désertification progresse.

• **L'extensification se manifeste de la manière suivante :**

— mise en culture de surfaces toujours plus importantes, à la fois pour minimiser les risques, en répartissant la surface cultivée sur des terroirs réagissant différemment aux aléas climatiques, mais aussi pour faire face à des besoins alimentaires croissants ;
— diminution de la force de travail présente sur l'exploitation par l'émigration temporaire ou permanente dans les pays voisins demandeurs de main-d'œuvre (Côte d'Ivoire par exemple) pour les plantations. Il s'ensuit une augmentation de la superficie par actif qui n'est pas compensée par l'introduction de nouveaux moyens de production ;
— diminution des jachères de longue durée et donc culture continue sur des zones de plus en plus importantes autour du village ;
— utilisation pour la production agricole de zones délaissées à cause de leur faible productivité.

Le schèma n° 1, élaboré à partir de la situation du Yatenga résume les mécanismes de cette dégradation.

La diminution des jachères va de pair avec celle des troupeaux d'où une capacité réduite à reproduire la fertilité du système. Au total, on assiste à une diminution du potentiel de production et de la reproduction du système.

• **Face à cette dynamique de l'extensification, les thèmes techniques qui sont proposés en expérimentation paysanne sont les suivants :**

— *la mise au point de variétés précoces* (cycle inférieur à 90 jours) et résistantes à la sécheresse répond aux souhaits des paysans pour qui il est souvent difficile de caler les céréales traditionnelles à cycle long sur des périodes culturales débutant tardivement. Cette mise au point représente une possibilité de sécuriser la production céréalière face à des débuts irréguliers de saison des pluies ;
— *l'introduction du semis en ligne et du sarclage en traction animale* asine ou monobovine avec rayonneur 3 dents permet d'alléger les pointes de travail au moment des sarclages. Cette innovation n'est, en général, acceptée que par les familles les plus aisées ;

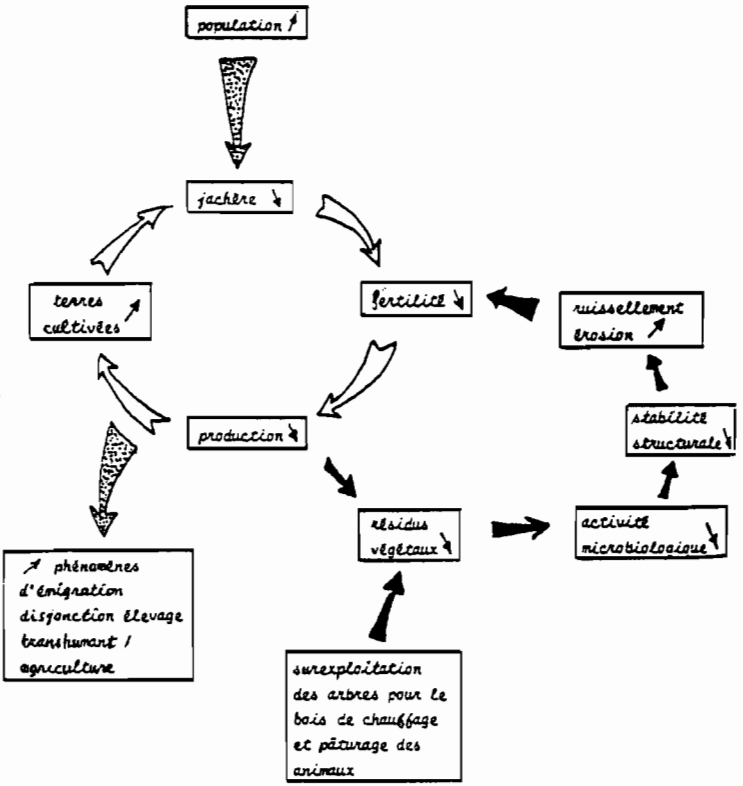
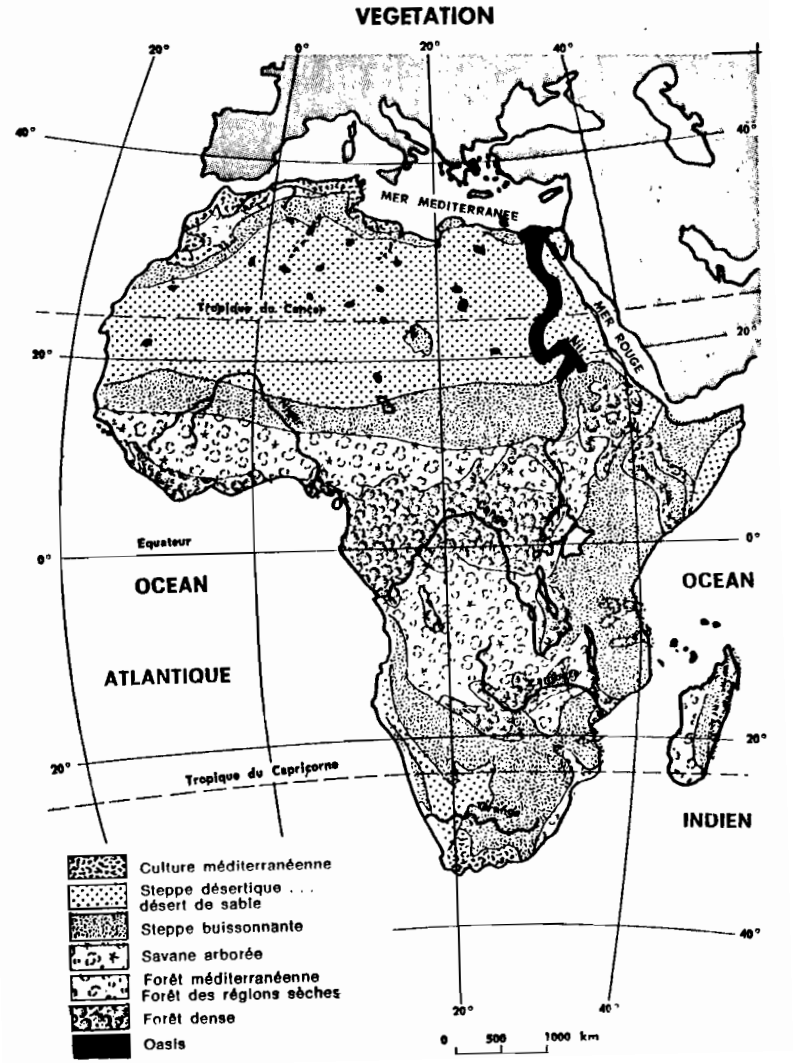


Fig. 1. *Cycle de dégradation de la fertilité au Yatenga.*

— *l'introduction de légumineuses,* comme le niébé, également testée en milieu paysan présente le double intérêt de constituer une culture de soudure à haute valeur nutritive en même temps qu'un précédent améliorateur pour la céréale ;
— *le développement des ressources fourragères, notamment ligneuses pour assurer la soudure* de l'alimentation du bétail, augmenter les recyclages organiques et restaurer la fertilité ;


VEGETATION
MER MEDITERRANEE
MER ROUGE
Tropique du Cancer
Equateur
Tropique du Capricorne
OCEAN
ATLANTIQUE
OCEAN
INDIEN
Culture méditerranéenne
Steppe désertique . . .
désert de sable
Steppe buissonnante
Savane arborée
Forêt méditerranéenne
Forêt des régions sèches
Forêt dense
Oasis
0 500 1000 km

— le développement des transferts directs (compostage, mulch...) là où il existe des excédents, au profit des zones du terroir les moins sensibles au risque hydrique (bas-fonds, zones argileuses...).

Mais les interventions purement agronomiques ont en général peu de chances de succès.

• **Les solutions à la crise de ces agricultures sont à penser en termes d'aménagement général :**

— aménagement des bassins versants pour lutter contre la désertification et l'érosion, en y associant des cultures pérennes économiquement intéressantes ;
— aménagement des terroirs villageois pour valoriser au mieux les ressources collectives, en réalisant les infrastructures de communication et de stockage qui permettront d'assurer une meilleure gestion de la production et de la commercialisation ;
— aménagements des bas-fonds pour retenir les eaux de surface et créer des pôles d'intensification ;
— promotion des activités paraagricoles et de l'artisanat.

2. LES SYSTÈMES CÉRÉALIERS DE LA ZONE SAHÉLIENNE

Dans des conditions climatiques plus favorables (pluviométrie annuelle comprise entre 700 et 1 200 mm, meilleure sécurité climatique caractérisée par des hivernages fréquemment supérieurs à 100-110 j.), *les systèmes céréaliers vivriers ont intégré des cultures de rente* et les paysans ont adopté des thèmes techniques augmentant la productivité du travail et/ou de la terre.

L'équilibre ressources/population a pu être maintenu tant que les densités de population ne dépassaient pas 50 à 60 habitants au km^2 et que les structures sociales permettaient une gestion raisonnée de la force de travail et des terroirs à l'échelle villageoise.

Ces systèmes concernent une partie importante de l'Afrique de l'Ouest entre le Sahel proprement dit et la zone forestière : le bassin arachidier du Sénégal, la zone cotonnière du sud du Mali, du nord de la Côte d'Ivoire, le sud du Tchad et le nord du Cameroun, le Togo, le Bénin et surtout une large part du Nigéria.

2.1. L'utilisation de l'espace et les systèmes de production

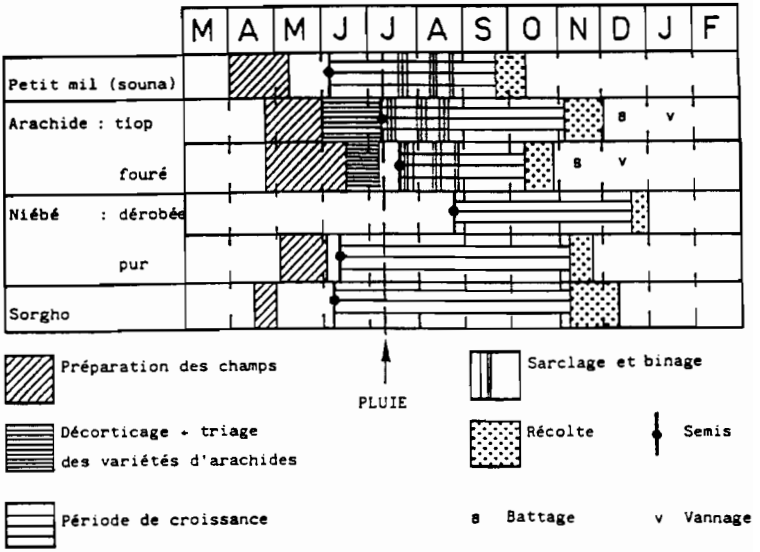
Le système de culture est caractérisé par l'association des céréales (mil, sorgho, maïs) à l'arachide (ou au coton) et à la jachère selon différents types de rotation.

Cette intégration est facilitée par le décalage existant entre les temps de travaux pour les différentes espèces.

La structuration des terroirs est caractéristique et correspond au mode de gestion de la fertilité.

Deux types de champs coexistent en général dans ces systèmes :

— des champs de culture permanents situés près de l'exploitation soit en vivrier, soit en culture de rente ;



Source : ICRA 1982

Fig. 2. *Le calendrier des travaux agricoles système Sahelien Serer - Sénégal.*

— des champs plus éloignés sur lesquels est pratiquée la rotation culture/jachère.

La culture de rente est semée en tête de rotation, et précède les cultures céréalières.

Sur les champs permanents, le paysan concentre les apports de fumier alors que le recrû de savane arborée permet de reconstituer la fertilité sur les champs les plus éloignés. Une fertilisation minérale sur les cultures de rente complète parfois ces pratiques traditionnelles.

Cette gestion de la fertilité n'est possible qu'avec *une étroite association agriculture/élevage* renforcée par l'entretien et l'utilisation des parcs d'*Acacia albida*.

En saison des pluies, le bétail qui pâture la jachère durant la journée est parqué près des habitations pendant la nuit (transfert de fertilité vers les champs permanents).

Après les récoltes, il reçoit les fanes d'arachide et de niébé ainsi que les tiges de mil et de sorgho.

En saison sèche, la vaine pâture et la jachère sont complétées par le fourrage des *Acacia albida*, feuillus en cette saison.

L'*Acacia albida*, en tant que légumineuse, joue également un rôle important dans la fertilisation azotée du système. Dicton traditionnel : « Cinq Acacias font un grenier ».

2.2. La dynamique des systèmes sahéliens

L'élément central de la transformation de ces agricultures est *le développement de la culture attelée* qui permet rapidement des gains de productivité du travail appréciables :

— dans la préparation du sol ;
— pour les semis (en ligne) ;
— pour le sarclage ;
— pour le soulevage de l'arachide.

Le passage à la culture attelée permet d'augmenter les superficies cultivées, en diminuant les pointes de travail au moment des semis et des sarclages.

Le développement de la culture attelée s'est déroulé de manière itérative et la diffusion de la mécanisation en zone non saturée démographiquement provoque davantage une augmentation des superficies cultivées qu'un accroissement des rendements à l'hectare.

Les gains de productivité concernent donc surtout la productivité du travail.

Dans ces circonstances, le développement de la culture attelée peut tout à fait entraîner un *profond déséquilibre du système agraire* : l'augmentation des superficies cultivées se fait aux dépens de la brousse qui assurait une partie des ressources fourragères. Les *Acacia albida*, tout autant essentiels pour l'affouragement, ne sont pas renouvelés ou sont abattus, car ils gênent le passage des outils tractés. Le recours à la transhumance se fait alors plus fréquent et les restitutions de fumier aux cultures diminuent. Les rendements peuvent en être fortement affectés (schéma n° 3).

Dans les zones cotonnières, la pénétration de la petite motorisation a, là aussi, concerné les grosses exploitations et accélère la différenciation sociale. L'évolution de cette région se démarque de celle de la zone arachidière dans la mesure où le coton est plus fréquemment fertilisé que l'arachide. Les cultures céréalières qui lui font suite bénéficient de cette fertilisation minérale. Toutefois, après plusieurs années de culture sans restitution organique, l'efficacité des engrais chimiques diminue très fortement.

Dans d'autres cas enfin, l'introduction de la culture attelée entraîne une augmentation du cheptel sans que les conditions techniques de son entretien ne soient présentes. Il en est de même lorsque les agriculteurs conservent leurs animaux dans leur exploitation au lieu de les confier aux pasteurs Peuls comme ils le faisaient traditionnellement. L'amélioration de l'état sanitaire et le développement des ressources fourragères est une nécessité.

Dans les zones sahéliennes, *l'enjeu se situe au niveau de la réussite de l'intensification qui passe par une intégration complète de l'élevage au système de production* ce qui signifie *sa maîtrise sur le plan technique* (alimentation, reproduction, dressage et hygiène) qui seule peut permettre une plus grande capacité de production des systèmes.

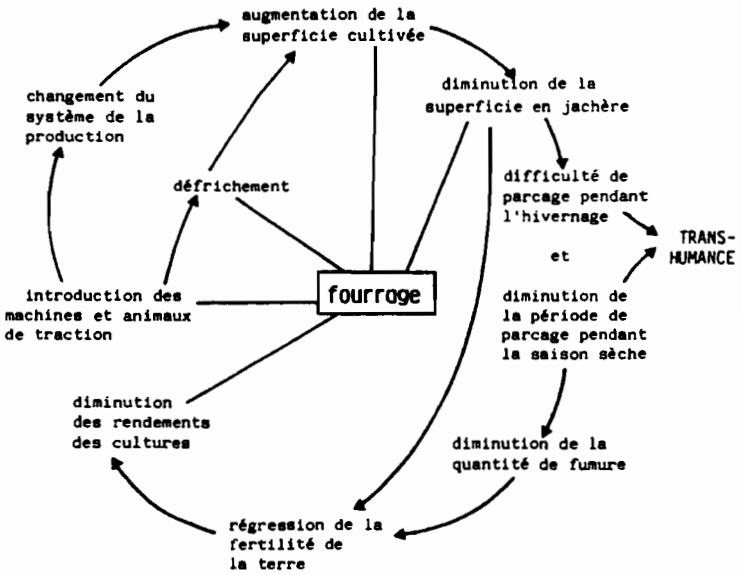


Fig. 3. *L'évolution de la situation fourragère dans la région de Niakhar (Sénégal).*

3. LES SYSTÈMES AGRAIRES DE LA ZONE FORESTIÈRE

Ces systèmes correspondent à la forme traditionnelle d'utilisation de l'espace dans la partie équatoriale de l'Afrique (entre 0 et 7° de latitude) : le sud de la Côte d'Ivoire et du Cameroun, le Gabon, le Congo et surtout le grand bassin du Zaïre se rattachent à cette vaste zone agro-écologique, pourtant souvent très peu peuplée.

La pluviométrie y est élevée (plus de 1 500 mm), et les problèmes parasitaires sont, en conséquence, importants. Ils affectent à la fois l'homme, les animaux et les cultures : du fait de l'importance du lessivage, *les sols se désaturent rapidement après une défriche,* ce qui provoque d'importants problèmes de fertilité.

Dans leur forme traditionnelle non dégradée, ces systèmes utilisent la forêt comme moyen de reproduction de la fertilité.

Leur principe de fonctionnement peut être décrit de la manière suivante :

3.1. Le système de défriche-brûlis

L'artificialisation du milieu est importante puisqu'elle doit permettre dans une zone forestière la constitution d'un espace favorable à la croissance et au développement des espèces cultivées :

— accès à la lumière ;
— accès aux éléments fertilisants ;
— suppression de la compétition avec les adventices.

Ces conditions sont créées par la défriche-brûlis.

La défriche est manuelle : machette, hache. Tous les arbres ne sont pas abattus et le dessouchage ne concerne que quelques troncs.

- **Le brûlis a une double fonction :**

— le nettoyage de la parcelle ;
— la mise à disposition des éléments minéraux contenus dans les cendres (K et Ca essentiellement, mais aussi P et des oligo-éléments).

Après nettoyage, les cultures de première année sont installées. Il s'agit le plus généralement de tubercules riches, comme l'igname, ou de riz pluvial. Dans le cas de l'igname, la constitution des buttes permet de rassembler les éléments fertilisants à proximité de la plante cultivée. Elle s'effectue manuellement à la daba. Les densités observées dans ces systèmes varient entre 5 000 et 8 000 buttes par hectare selon que le tubercule est en culture pure ou en culture associée.

Le nettoyage par le feu détruit les graines de la végétation préexistantes sur le sol. La première année, le sarclage est donc trés réduit ou inexistant. Ce facteur explique la fréquence de la culture du riz pluvial en défriche-brûlis, le sarclage de cette culture étant très coûteux en travail dans d'autres systèmes.

La deuxième année on cultive des plantes annuelles moins exigeantes ou plus faciles à désherber que le riz : taro, bananiers, manioc, maïs, arachide. Il s'agit en général d'associations culturales.

La reproduction de la fertilité se base sur la possibilité de mettre en culture chaque année une parcelle de forêt dont le couvert est complètement reconstitué. Dans le système forestier typique cette reproduction est assurée par des rotations de plus de 15 ans. Le terroir en jachère comporte donc autant de parcelles avec des recrûs forestiers d'âge croissant.

Un recrû ayant constitué une forêt secondaire équivaut à un apport de 75 kg d'azote par hectare avec ce mode d'exploitation du milieu.

Le phosphore mis à part, plus de la moitié des stocks d'éléments fertilisants sont reconstitués au bout des cinq premières années.

3.2. Les limites des systèmes forestiers et dynamique de transformation : l'introduction des cultures de rente

- **Limite démographique**

Compte tenu du mode d'exploitation du milieu, les densités de population permises sont de l'ordre de quelques dizaines d'habitants au km^2.

Dans le nord Congo, les densités de population en zone forestière sont extrêmement faibles (moins de 1 habitant par km^2), et les temps de jachère

sont en moyenne de 8 ans avec des durées comprises entre 2 et 30 ans. Le temps de recrû forestier est d'environ 4 fois celui réservé à la culture.

- **Limite économique**

Les systèmes de défriche-brûlis, lorsque la pression démographique est faible, satisfont bien les stratégies d'autosubsistance des paysans. Ils permettent en effet de produire correctement pour de faibles quantités de travail ; la productivité du travail est élevée : 40 à 50 kg d'igname ou 8 à 10 kg de paddy par jour de travail sans aucun intrant.

Mais parce qu'ils sont extrêmement extensifs, ils contribuent peu au produit intérieur brut des Etats. D'un point de vue macro-économique, leur intensification est une nécessité.

- **Limite agro-écologique**

L'équilibre de ces systèmes suppose que l'espace soit suffisamment vaste pour que les paysans n'en cultivent qu'une faible partie chaque année, laissant le reste à la jachère.

Le raccourcissement de la phase de recrû entraîne donc une baisse des rendements ; de même si l'on prolonge la culture sans recours à la repousse forestière.

Traditionnellement, c'était l'accroissement démographique qui entraînait le raccourcissement des jachères. Depuis plus d'une vingtaine d'années, l'exode rural et l'émigration ont stoppé ce processus. C'est désormais le développement des cultures pérennes de café, de cacao ou de palmier à huile qui imposent de rechercher un autre système de reproduction de la fertilité.

En effet, dans beaucoup de régions, les paysans ont cherché à planter ces espèces en deuxième année, de telle sorte qu'elles prennent le relais des cultures vivrières. Le besoin de revenus monétaires, notamment chez les jeunes, a certainement été à la base de cette dynamique. Le besoin de marquer une appropriation foncière individuelle ou familiale par des plantations a renforcé l'intérêt des paysans pour ces cultures de rente, ainsi évidemment que les efforts des services du Développement (subvention des intrants, organisation de la collecte...).

Les surfaces plantées se trouvent naturellement exclues de la rotation jachère/cultures vivriéres et l'espace disponible pour ces dernières s'en trouve réduit d'autant.

Des formules judicieuses d'association cultures vivrières/cultures de rente peuvent néanmoins ralentir l'apparition d'importants problèmes de fertilité et de baisse de la production vivrière. Il demeure que ces systèmes doivent trouver un nouvel équilibre en regard de la gestion de leur fertilité.

Or, l'introduction du bétail comme facteur d'intensification se heurte à des obstacles importants : sensibilité à la trypanosomiase et difficulté d'utiliser la traction animale sur des parcelles non dessouchées. L'utilisation d'engrais chimiques demande à être très soigneusement dosée compte tenu du lessivage. En tout état de cause, se pose le problème du maintien d'un niveau suffisant de matière organique, condition essentielle, sous ces climats, du maintien d'une capacité d'échange dans les sols.

C'est donc autour de formules associant l'arbre, les cultures de rente et des cultures vivrières sous couvert à basse densité que ces systèmes peuvent retrouver un équilibre.

4. LES SYSTÈMES AGRAIRES D'ALTITUDE

En regard des basses terres, les systèmes agraires d'altitude occupent en Afrique de l'Ouest et du Centre des superficies modestes, mais fortement peuplées. Les massifs du Fouta Djalon en Guinée-Conakry et surtout celui de l'Adamoua au nord-ouest du Cameroun sont les principaux concernés. C'est surtout en Afrique de l'Est qu'ils sont fortement représentés : les hauts-plateaux éthiopiens se prolongent au sud autour des « grands lacs » en Ouganda, au Kenya, en Tanzanie et dans l'est du Zaïre. Le Rwanda et le Burundi sont entièrement situés dans ces zones élevées.

4.1. Le milieu et ses conséquences sur les espèces cultivées

Les caractères climatiques tropicaux sont modifiés par l'altitude qui influe ainsi sur la gamme des cultures possibles.

Entre 1 400 et 1 500 m semble se situer la limite des zones chaudes. Plus haut, le climat permet le développement de cultures de zones tempérées (pomme de terre...).

1 800 m est une autre barrière pour les cultures :

— le bananier et le caféier deviennent rares puis disparaissent ;

— le haricot, très fréquent entre 1 000 et 1 800 m est remplacé par les petits pois ;

— les basses températures moyennes allongent fortement le cycle des céréales tropicales alors que la nébulosité réduit le rendement des plantes en C4, comme le maïs.

Au-dessus de 2 300 m, le remplacement de ces céréales par l'éleusine, l'orge ou le blé devient obligatoire.

Le caractère souvent nuageux des zones d'altitude diminue l'ensoleillement, et donc avec des températures également plus basses, l'ETP est moins importante.

A la station de Dschang au Cameroun, (altitude moyenne : 1 350 m), elle est le plus souvent inférieure à 150 mm/mois. D'où, à pluviométrie égale, une pluie utile plus importante dans ces zones.

Le relief, l'importance des pluies, et souvent l'épuisement des sols en matière organique posent d'importants problèmes d'érosion hydrique.

D'une manière plus générale, l'importance du lessivage génère *des sols acides,* notamment sur *socle cristallin.*

Sur les *reliefs volcaniques* (nord Rwanda, est Zaïre, pays Bamiléké), se sont par contre développés des *sols profonds, bien fournis et stables.*

4.2. L'utilisation de l'espace et les systèmes de culture

Pour des raisons historiques, liées au refoulement d'ethnies d'agriculteurs dans des zones de relief en général confinées, les systèmes d'altitude sont fréquemment marqués par une forte pression démographique.

Ils se distinguent alors par une utilisation intense de l'espace basée sur un droit foncier qui reconnaît, sous des formes juridiques diverses, le droit à l'exploitation permanente ou quasi permanente du sol.

Chez les Bashis du Zaïre, le sommet des collines et les marais drainés sont régis par le « Kalinzi », contrat foncier qui confère à l'exploitant un droit permanent ; les autres zones étant attribuées le sont, soit pour de longues durées (plus de 10 ans) soit par des contrats de plus courte durée (1 à 2 ans).

En pays Bamiléké, le droit coutumier accorde des concessions permanentes et héritables aux hommes. Ces systèmes juridiques favorisent donc la mise en place d'une agriculture sédentaire.

La figure n° 4 illustre la répartition des cultures sur une toposéquence, à partir d'une étude réalisée en pays Bamiléké, dans l'ouest du Cameroun.

On distingue de bas en haut de la toposéquence :

— les caféières situées en bas de pente, là où le profil concave offre les sols les plus profonds du fait de l'accumulation des matériaux érodés. (Si la pente est faible, on peut aussi les trouver autour des cases, à une altitude plus élevée) ;

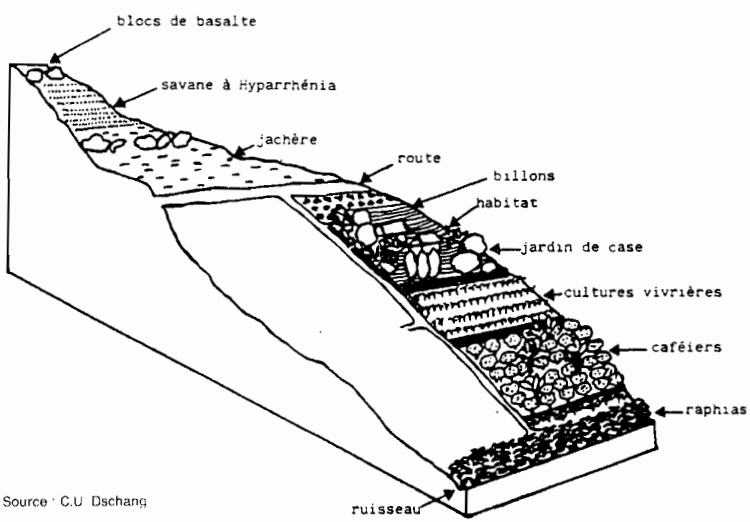


Fig. 4. *Répartition des cultures sur un versant pays Bamileke (Cameroun).*

— les cultures vivrières qui se répartissent entre le haut et le milieu de la pente ;
— les pâturages localisés sur les sommets, souvent sur des portions impropres à la culture (affleurements rocheux).

En zone d'altitude, ces pâturages peuvent constituer des réserves de terres cultivables, progressivement grignotées par la montée des cultures.

Au niveau de la parcelle, *l'association culturale est la règle.* Les associations de cultures correspondent en effet à des stratégies d'utilisation maximale de la parcelle dans les conditions les plus favorables ou à des stratégies de minimisation des risques sur les terrains épuisés ou érodés.

Dans la première catégorie, les espèces, en nombre important (souvent plus de dix), comprennent à la fois des plantes pérennes et des annuelles, et fréquemment des arbres (agro-foresterie). C'est le cas, par exemple, de la bananeraie jouxtant la maison d'habitation au Rwanda (« rugo ») ou des caféiers en pays Bamiléké qui bénéficient de transferts de fertilité importants. Ces associations culturales sont complexes avec de forts coefficients d'occupation des sols et procurent des rendements vivriers élevés : jusqu'à 40 qx de matière sèche par hectare, ce qui est considérable compte tenu des contraintes climatiques liées à l'altitude.

Les parcelles de la seconde catégorie comprennent moins d'espèces (2 à 5), plus rustiques et en général annuelles.

Une étude fine des parcelles cultivées en pays Bamiléké a montré que l'on pouvait distinguer quatre types de parcelles en fonction des cultures dominantes :

— caféière ombragée (café, musacées, maïs, taro, macabo...) ;
— champs de tubercules (taro, macabo, maïs, haricot...) ;
— champs d'arachide (arachide, maïs, haricot...) ;
— maraîchage (pomme de terre ou chou).

4.3. Dynamique et intensification de ces systèmes

Il s'agit donc de formes d'agriculture très intensives, au moins en travail, ce qui se traduit par des ratios significatifs :

— forte intensité de la main-d'œuvre (4 à 5 actifs agricoles par hectare de SAU) ;
— association de l'élevage : 0,5 à 0,6 UBT/hectare de SAU.

• Des investissements importants sont rendus possibles par la pérennité des contrats d'attribution de la terre :

— mise en place de bananeraies qui créent un milieu favorable (humidité et matière organique) pour le développement des cultures vivrières intercalaires ;
— association avec des légumineuses qui fixent l'azote atmosphérique ; les premiers produits de la bananeraie n'apparaissant qu'après un an et demi ;
— aménagement des bas-fonds (drainage) pour permettre des cultures en contre-saison ;
— irrigation pour le maraîchage dans les bas-fonds et en altitude ;

— dispositifs anti-érosifs avec des arbres si la pression des cultures annuelles n'est pas trop forte.

L'augmentation de la population et la pénétration de l'économie marchande accentuent la pression des cultures sur ces terres, alors que les équilibres sont extrêmement fragiles.

Le schéma typique de cette évolution est celui d'une intensification par augmentation de la quantité de travail investie par unité de surface :

— en accélérant les rotations culturales (2 voire 3 cultures en relais) et en diminuant les jachères ;
— en sophistiquant les techniques de culture, pour augmenter la production par hectare ou tout au moins pour faire face à la baisse de la fertilité du milieu que provoque la diminution des jachères.

La recherche de fourrages et les transferts de fertilité deviennent de plus en plus coûteux en travail, jusqu'à saturation de l'offre disponible.

A terme, cette évolution conduit à une crise accentuée où le système, poussé à produire davantage, n'a plus la possibilité de se reproduire.

Le signe le plus immédiatement visible de cette crise est alors la diminution de l'élevage.

L'intégration de celui-ci à l'agriculture est en effet une condition essentielle de reproduction de la fertilité grâce aux transferts et aux recyclages qu'il permet.

A partir d'un certain stade d'intensification, la réduction des jachères fait que l'élevage, au lieu d'être complémentaire, va concurrencer l'agriculture pour l'utilisation de l'espace disponible.

La taille du troupeau bovin diminue et c'est alors l'ensemble du système qui est menacé.

Il est important de trouver des scénarios d'intensification qui ménagent une reproduction des équilibres du milieu. Des exemples existent qui montrent que la crise n'est pas inéluctable.

- **Des solutions peuvent soulager la pression des cultures sur le milieu :**

— soit par l'émigration : chez les Bamilékés, exode rural et pluriactivité permettent des transferts financiers en faveur de l'agriculture. Maraîchage et élevage intensif avec utilisation d'intrants permettent une remarquable productivité du travail et de l'espace ;
— soit par le recours à des zones encore plus élevées, pour les coloniser (Crête Zaïre Nil au Rwanda) ou s'en servir comme pâturages extensifs ;
— soit enfin par une intensification agricole non minière, ce qui suppose alors le développement des cultures fourragères et le renforcement de l'intégration de l'élevage.

Les cultures fourragères peuvent être imaginées en remplacement partiel de la jachère, si celle-ci n'a pas complètement disparu, et sur les marges de l'espace cultivé (bords de routes, de canaux...). Les haies fourragères et l'embocagement sont des solutions à expérimenter dans beaucoup de cas.

Néanmoins, l'expérience montre, que le seul souci du maintien de la fertilité suffit rarement pour imposer le développement des cultures fourragères. La perspective de revenus plus immédiats comme celui que peut procurer le lait (si des circuits commerciaux peuvent être développés)

amènent par contre plus facilement les agriculteurs à développer cette technique.

En tout état de cause, l'utilisation d'intrants, notamment de fertilisants, sera indispensable. Des prix agricoles élevés seront alors la clé de leur succès.

5. LES SYSTÈMES AGRAIRES D'OASIS

L'existence des systèmes agraires oasiens se base sur une gestion stricte de deux ressources rares dans les régions arides : l'eau (pluie inférieure à 200 mm) et l'espace cultivable.

Leur valorisation optimale est obtenue par la combinaison de pratiques culturales d'utilisation intensive de l'espace et de l'eau et la sélection d'un matériel biologique performant dans ces conditions.

L'élevage y est associé selon des modalités diverses allant des systèmes pastoraux extensifs de steppe aux élevages intensifs sous palmeraie.

Ces systèmes représentent quelques 500 000 hectares et font vivre environ 5 000 000 de personnes.

5.1. Le milieu et ses conséquences sur les espèces cultivées

Les oasis constituent des écosystèmes dans lesquels l'artificialisation du milieu naturel est très grande.

Le palmier dattier est à la base de cette mise en valeur, l'irrigation en étant l'autre élément fondamental.

5.1.1. LE PALMIER DATTIER : RÔLES PRINCIPAUX

Outre une production non négligeable (jusqu'à 30 kg/arbre/an), les palmiers participent à la création d'un micro-climat rendant possible les cultures sous-jacentes : arbres fruitiers et plantes herbacées.

Ils contribuent à :

— diminuer l'ETP, elle est réduite de 26 % avec une couverture du sol de 30 % ;

— diminuer la sécheresse de l'air ;

— tamponner les fortes températures et réduire ainsi les risques de blocage de la photosynthèse.

Souvent sous forme de touffes dans les palmeraies peu entretenues, les densités sont variables et en général élevées (180 à 250 arbres/ha). Une densité de 100 arbres/ha qui assure un recouvrement de 30 à 50 % semble être optimale et permet d'éviter :

— des ambiances de climat tropical humide favorisant le développement des parasites ;

— une influence trop marquée des paramètres climatiques si la faible densité des palmiers ne leur permettent pas de jouer leur rôle de tampon.

5.1.2. L'IRRIGATION

Soumis à des pluviométries inférieures à 200 mm, les systèmes oasiens ne sont viables qu'avec l'utilisation des ressources en eau mobilisables.

Selon la géomorphologie, les ressources en eau et leur disponibilité sont variables et conditionnent leur mode de mise en valeur.

On peut en faire le classement suivant :

- **Eaux de surface**

Les possibilités de mise en valeur varient en fonction de la position dans le bassin versant et des pratiques paysannes locales.

— Parties hautes : citernes, tabias et jessours. Ce type de mise en valeur ne se rencontre guère que dans les oasis continentales de montagne du Sud tunisien. Ces ouvrages placés en milieu de pente retiennent les eaux de ruissellement et les produits de l'érosion.

— Parties basses : ouvrages d'épandage de crues (oueds). Ils représentent la forme d'aménagement la plus répandue dans les systèmes d'oasis traditionnels.

— Dépressions : on rencontre ce type d'aménagements dans le sud du Sahara (nord Niger, nord Mali).

- **Eaux souterraines**

On distingue :

— les nappes phréatiques qui alimentent les oasis par des puits peu profonds, venant en complément des eaux de surface ;

— les nappes profondes qui sont exploitées par forage.

Ce type d'exploitation se limite actuellement à l'Algérie et au Sud tunisien.

Dans les zones où la salinité est une contrainte importante (pour le palmier en particulier), le drainage est le seul moyen de rabattre la nappe et de réduire la remontée des sels.

La densité des drains dépend de l'intensité de l'irrigation, de la qualité des eaux utilisées (salinité) et du niveau de technicité des paysans.

5.1.3. UN ÉQUILIBRE ÉCOLOGIQUE SOUS HAUTE DÉPENDANCE

Création anthropique qui peut atteindre de hauts niveaux d'organisation, l'oasis périclite rapidement si les travaux d'entretien ne sont pas réalisés par l'homme :

— lutte contre l'ensablement ;

— entretien des canaux d'irrigation et de drainage ;

— entretien permanent de la fertilité dans un système où les cultures se succèdent toute l'année de manière intensive.

Cet équilibre est résumé par la figure 5.

5.2. Utilisation de l'espace et systèmes de production

Dans les oasis, le système de production s'articule autour du droit à l'eau et le paysage se structure autour des canaux d'irrigation et de drainage.

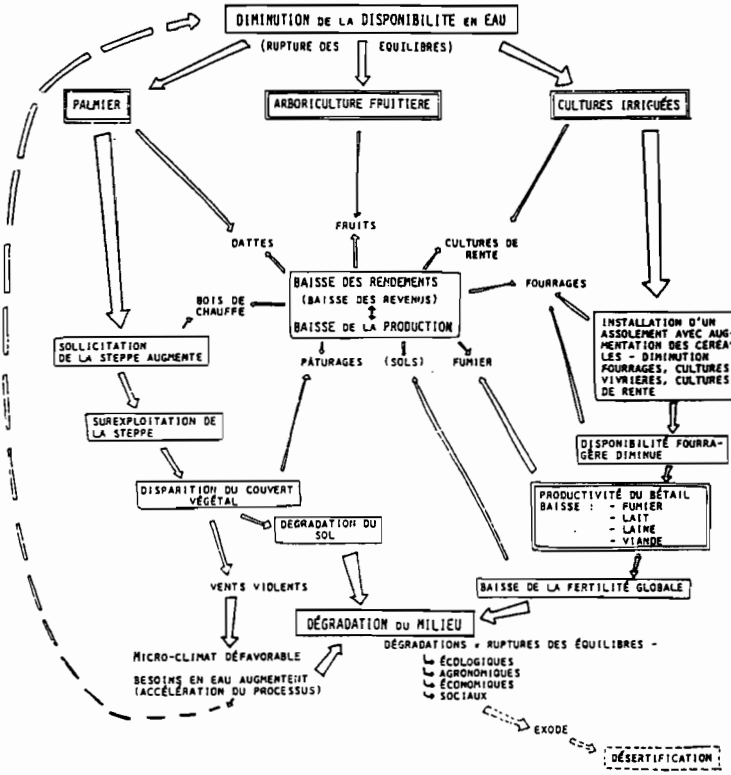


Fig. 5. *Eau : facteur essentiel au maintien de l'équilibre du système de production en zone de palmeraie.*

Le système de propriété des tours d'eau se superpose à celui du droit foncier. La répartition des tours d'eau est donc codifiée par les traditions, mais est de plus en plus bousculée.

Dans une oasis entretenue on retrouve trois strates de végétation :

— les palmiers dattiers ;

— les arbres fruitiers ;

— les cultures au sol : maraîchage, orge, blé et blé dur, luzerne.

Les deux strates inférieures sont, ou non, présentes dans les oasis et sont donc un indicateur de l'intensité de l'exploitation du milieu.

Les arbres fruitiers sont rarement plantés sous forme de verger organisé.

Lorsque la palmeraie est en voie d'organisation, les cultures au sol se réduisent à la culture céréalière d'auto-consommation, telle que le blé dur dont les rendements peuvent atteindre 40 qx/ha.

Le système de culture se complexifie au fur et à mesure que se développe l'oasis.

L'élevage, extensif ou intensif, est toujours étroitement associé à l'agriculture des oasis.

En extensif, les oasis constituent des zones de repli pour les éleveurs nomades en difficulté suite à de mauvaises saisons climatiques et/ou à la dégradation de la steppe. Les nomades tendent alors à se sédentariser partiellement, pratiquant un élevage de type semi-sédentaire avec des troupeaux associant les petits ruminants aux camelins et bovins selon les cas. Le blé est alors la culture sous-jacente principale.

En intensif, les races des petits ruminants valorisent de manière optimale les ressources fourragères et la production de fumier (poudrette) contribue au maintien de la fertilité des sols. Dans ces systèmes les cultures fourragères occupent une place importante (sorgho) et les déchets ménagers complémentent la ration.

5.3. Mécanismes d'évolution des systèmes phoenicicoles

Le schéma global page suivante (figure 6) résume les interactions socio-économiques qui pèsent sur les systèmes agraires oasiens et interviennent sur leur évolution.

On peut souligner l'importance de l'émigration (nationale ou internationale) dans la dégradation de ces écosystèmes : l'existence de sources de revenus salariés hors de l'agriculture a provoqué une diminution quantitative et qualitative de la force de travail qui réduit les possibilités d'entretien des palmeraies.

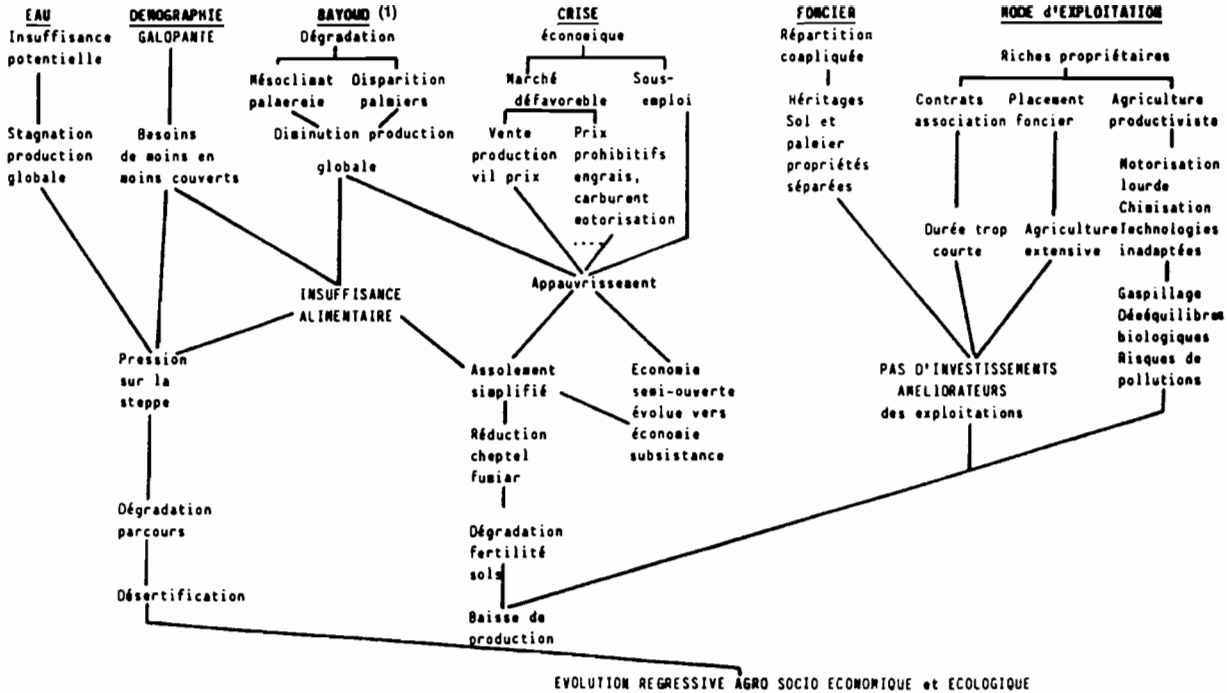
Les phénomènes de morcellement des structures d'exploitation et le retour actuel dans les oasis des anciens émigrés suite à la crise rend plus aiguës encore les inégalités dans la répartition des facteurs de production (eau, terre).

6. CONCLUSION

Le découpage que l'on a adopté pour présenter les principaux systèmes agraires africains se fonde sur des *critères agro-écologiques* :

- zones sub-arides à pluviométrie très irrégulière et en diminution ;
- zones où la pluviométrie est comprise entre 700 et 1 200 mm, offrant une relative stabilité climatique ;
- zones intertropicales humides (plus de 1 500 mm) à couverture forestière dense ;
- zones d'altitude où les caractéristiques climatiques sont sensiblement modifiées.

Dans chacune de ces zones, on a cherché à mettre en évidence les éléments fondamentaux du système agraire qui rend compte de leur évolution récente :



(1) Fusariose du palmier dattier qui a ravagé la palmeraie marocaine en 1963.

Source : G. TOUTAIN

Fig. 6. *Processus d'évolution des écosystèmes phoenicicoles*
Impact combiné des facteurs de dégradation.

— dégradation de l'écosystème cultivé et recherche de pratiques anti-aléatoires qui s'expriment par une extensification de l'agriculture dans les zones sahéliennes. La préservation et la réhabilitation des écosystèmes dégradés doit s'appuyer sur une reconstitution du troupeau, élément de sécurité du système ;
— problématique de l'intensification en zones sahéliennes où se pose de manière centrale l'intégration de la culture fourragère aux systèmes de production pour éviter les tendances à l'extensification que l'on peut y déceler ;
— maintien de la fertilité en zone forestière dans un écosystème potentiellement riche mais fragile dès que disparaît le couvert arboré.

Se substituant aux découpages arbitraires d'ordre agro-climatique, apparaissent donc des *problématiques de développement* spécifiques à des *systèmes de contraintes.*

Dans ce cadre général, *l'élevage* se révèle un *élément central* de la dynamique des systèmes agraires africains :

— en diminution, il provoque un appauvrissement des systèmes de production, en même temps qu'il permet de réaliser la soudure par la vente de quelques animaux ;
— en augmentation, il peut être un facteur de déstabilisation de l'écosystème cultivé traditionnel si celui-ci ne se modifie pas pour supporter cette charge supplémentaire ;
— enfin, son intégration, avec introduction des cultures fourragères dans l'assolement, demeure un préalable au déblocage de beaucoup de situations parfois critiques notamment en situation de forte densité démographique.

Cette problématique centrale s'articule sur deux autres *enjeux fondamentaux* pour les systèmes agraires africains :

— le maintien ou la restauration de *la fertilité des sols ;*
— la possibilité pour ces systèmes de supporter dans des conditions de vie aussi bonnes, sinon meilleures, que dans les villes, *des populations en nombre croissant.*

II

APPROCHE DE L'ACTION DE DÉVELOPPEMENT

Les enseignements de l'expérience accumulée en matière de développement rural sont présentés en deux temps. Quelques principes permettent tout d'abord de construire *un cadre général de réflexion pour orienter l'intervention de terrain.* Dans un deuxième temps, les principaux outils utiles à la mise en place de l'action sont analysés.

1. UN CADRE GÉNÉRAL DE RÉFLEXION

De plusieurs des expériences faites, il ressort une démarche que l'on peut schématiquement présenter comme suit :

— le diagnostic conduit à la compréhension de l'agriculture paysanne, des stratégies des différentes classes d'agriculteurs, et à la formulation d'hypothèses concernant les contraintes dominantes et les possibilités de les supprimer ou d'en minimiser les effets ;

— c'est sur la base de ces hypothèses qu'est orientée l'action. Des interventions sont envisagées et font l'objet *d'une évaluation ex ante à laquelle sont associés les agriculteurs* ;

— les innovations proposées font ensuite l'objet d'expérimentations dont le protocole est défini en fonction des objectifs poursuivis : expérimentation en station, expérimentation contrôlée en milieu paysan, *expérimentations gérées par les paysans eux-mêmes* qui permettent d'évaluer la compatibilité des innovations testées avec la gestion globale des unités de production. Des informations sont collectées à chaque étape du processus, qui permettent de modifier l'innovation et de l'adapter progressivement aux besoins des paysans ;

— *les innovations qui « marchent » sont ensuite diffusées* auprès de l'ensemble de la « population-cible » ;

— une évaluation permanente de l'utilisation que font les agriculteurs de l'innovation diffusée permet de modifier les hypothèses de départ et de réorienter l'action.

Cette démarche fait état de principes intéressants : reconnaissance de la cohérence du comportement des paysans, nécessité du diagnostic, association des producteurs à l'action, expérimentation en dehors des stations de recherche, présence d'un processus d'évaluation permettant d'adapter progressivement l'action... Leur mise en œuvre n'a cependant pas toujours conduit aux résultats espérés. Des expériences passées, un certain nombre d'idées et de principes utiles à la conception d'actions de développement peuvent être retirés.

1.1. Des acteurs cohérents

Il est aujourd'hui acquis que les agriculteurs suivent dans leurs décisions une cohérence, qui dépend de leurs ressources, de leurs objectifs, des contraintes qu'ils rencontrent. Ils adoptent une stratégie pour gérer leur unité de production. Une innovation n'est susceptible d'être adoptée que dans la mesure où elle est compatible avec cette stratégie.

Les exemples sont nombreux d'innovations proposées par les projets de développement et refusées avec raison par les agriculteurs, comme, par exemple, l'implantation de cultures pures (les associations de cultures traditionnelles permettant souvent une meilleure valorisation des ressources et une limitation des risques) ou encore le repiquage du riz en ligne (exigeant des investissements en travail importants à une époque où la main-d'œuvre est occupée à d'autres tâches prioritaires)...

Un diagnostic est nécessaire : il faut comprendre le comportement des agriculteurs, identifier leurs objectifs et leurs contraintes prioritaires pour orienter l'action en fonction de leurs besoins réels.

1.2. La diversité du milieu : des priorités à établir

Une bonne connaissance de la situation de départ des sociétés auxquelles l'intervention se propose d'apporter son appui est nécessaire ; or, les situations sont très diverses des points de vue écologique, technique, économique et social. Cette diversité doit induire des formes adaptées d'intervention sur le terrain.

1.2.1. LA DIVERSITÉ ÉCOLOGIQUE

Aisément perceptible et donc reconnue à l'échelle de grandes zones (Sahel/zones forestières) et à l'intérieur d'un pays, elle l'est beaucoup moins à l'intérieur d'une région. Or, même dans des espaces limités la diversité agro-écologique peut être importante (le zonage effectué dans la province du Yatenga au Burkina Faso à partir de trois critères — pluviométrie, nature des sols et densité de population — a permis une stratification du milieu en six zones appelant des réponses différenciées au plan technique).

Les indicateurs essentiels de cette diversité sont les données liées au milieu physique (nature et état des sols, climat, couvert végétal, etc.), à son occupation (densité de la population, structuration de l'espace, etc.), aux caractéristiques de mise en valeur du milieu (cultures, fertilisation, rotations, techniques culturales, etc.).

1.2.2. LA DIVERSITÉ DES SITUATIONS ÉCONOMIQUES peut être appréhendée à plusieurs échelles géographiques.

Des distinctions sont à établir entre régions suivant qu'il existe ou non une rente de situation (existence d'un marché, industrie, zones frontalières, etc.), des infrastructures (réseau de communication, organisation des transports, filière organisée, etc.).

Il existe aussi une grande diversité, au sein des petits espaces agraires, entre les exploitations agricoles. L'utilisation de critères structurels (superficie des exploitations, capital, stratification sociale, main-d'œuvre) permet de mettre en évidence cette diversité.

1.2.3. LA DIVERSITÉ DES LOGIQUES SOCIALES au sein d'une société agraire est moins facile à appréhender d'emblée, ce qui conduit parfois à la négliger ; quelques indicateurs permettent cependant d'identifier et de caractériser ces logiques.

Quels sont les objectifs économiques et les finalités sociales qui déterminent les comportements des paysans ? Ils varient suivant les contextes (écosystèmes fortement dégradés/terres neuves, environnement socio-économique plus ou moins sécurisé, etc.), les caractéristiques structurelles des différentes exploitations (et donc leur capacité à prendre des risques), le statut social des paysans (chefs d'exploitations, hommes, femmes, jeunes, etc. mais aussi différentes catégories sociales au sein du village), etc.

Les stratégies paysannes qui en découlent sont forcément différenciées : la logique de survie est dominante dans les zones fortement fragilisées (choix à très court terme, limitation maximum des risques, exode, etc.) alors qu'apparaissent des logiques d'accumulation dans les zones plus favorables ou chez certaines catégories sociales.

L'analyse de la diversité des situations et des rationalités paysannes doit permettre des choix d'intervention. Ces choix sont en effet indispensables : faut-il privilégier les régions les plus porteuses du point de vue économique au détriment de zones marginales ? Mise-t-on sur les paysans les plus dynamiques ou sur la grande masse des paysans ? Choisit-on de mettre en place un mécanisme de stabilisation des prix des produits ? Evalue-t-on le rapport coût/bénéfices dans une perspective à court ou à long terme ? Quel est le degré de priorité accordé à la préservation de l'environnement ? Doit-on s'attaquer aux problèmes fonciers dans certaines régions ? etc. De nombreux critères explicites ou non (augmenter la production, maintenir la paix sociale en ville, à la campagne, favoriser les intérêts de la population urbaine plutôt que ceux de la population rurale) sont utilisés pour effectuer ces choix, qui dépassent souvent largement le niveau de l'action de développement sur le terrain, mais dont il faut tenir compte dans la conception de toute intervention.

1.3. Diagnostic et action

La diversité du milieu rend plus complexe la compréhension de la société rurale dans laquelle s'inscrit l'action de développement, et donc la conduite du diagnostic.

Il faut fixer le degré de précision souhaité dans le diagnostic et l'échelle la plus adaptée aux objectifs poursuivis. Cette échelle doit permettre d'adapter les interventions en fonction de la diversité du milieu, tout en permettant que l'intervention ait un effet économique significatif, dépassant le stade expérimental et marginal. De cette efficacité dépendra l'attrait de la démarche proposée, aussi bien pour les gouvernements, les bailleurs de fonds que pour les paysans eux-mêmes.

L'expérience montre que dans de nombreux projets, le diagnostic a été survalorisé : chaque année supplémentaire apporte autant de nouvelles questions que de connaissance, rendant nécessaire un prolongement du diagnostic et un report de l'action. Les préoccupations de recherche prennent alors rapidement le pas sur celles du développement : les paysans, de partenaires, tendent à devenir des objets d'étude. Les résultats obtenus en terme de développement, ainsi que l'efficacité de tels projets sont souvent faibles.

Pour échapper à cette « dérive », on se tourne progressivement vers la réalisation d'un diagnostic rapide permettant la formulation d'hypothèses sur la base desquelles est engagée l'action. Un processus permanent de suivi-évaluation permet de vérifier ou d'infirmer les hypothèses de départ et de progressivement adapter et réorienter l'intervention. Outre ces mécanismes de suivi-évaluation, l'attitude des paysans face à l'intervention — participation volontaire ou désaffection — est un excellent indicateur de la

qualité des orientations prises. Cette approche est séduisante. Son opérationnalité dépend cependant de la capacité des praticiens à formuler les bonnes hypothèses à partir d'une observation brève du milieu. Elle est d'autant plus efficace que ces praticiens sont plus expérimentés.

Ce recours à un diagnostic court et à un début rapide de l'action conduit à concevoir l'intervention, non plus comme un processus conduisant à la production d'une innovation, véritable produit fini. L'intervention devient un processus d'animation du milieu et de mise en cohérence des dynamismes locaux. Elle est aussi un moyen d'affiner sa connaissance du milieu : on peut mieux connaître les aspirations de la population en réfléchissant avec elle sur des propositions concrètes ; la préparation, la mise en œuvre, l'évaluation de ces propositions est un puissant moyen de dialogue. Action et connaissance du milieu s'enrichissent mutuellement.

1.4. Changement technique et développement rural

Les projets de développement rural sont souvent centrés sur les seuls aspects agricoles, et, plus étroitement, sur les aspects techniques de la production agricole. Les succès enregistrés sont pourtant rarement uniquement imputables à l'innovation technique.

Dans certains cas, les paysans ont modifié leurs pratiques spontanément et sans aucune intervention technique extérieure. C'est le cas du développement du maraîchage péri-urbain dans le Sahel, ou de l'extension du sorgho de décrue dans le nord du Cameroun. Sur les hauts-plateaux de l'est de l'Ethiopie, les paysans se sont spontanément tournés vers les productions de rente avec l'ouverture du marché djiboutien et la mise en place des infrastructures nécessaires à l'acheminement de la production.

La « révolution verte » a certes été liée à l'existence d'un référentiel technique adapté, mais aussi à des conditions agro-écologiques favorables (sols les plus fertiles, stabilité des précipitations ou recours possible à l'irrigation), existence de circuits d'approvisionnement permettant une fourniture d'intrants au moment opportun, conditions de marché et de stockage permettant une bonne valorisation de la production obtenue. Le développement du coton en Afrique est dû, là aussi, à l'existence d'un référentiel technique adapté, mais il reste indissociable de l'organisation très performante de l'ensemble de la filière et de la mise en place de systèmes de stabilisation des prix payés aux producteurs.

L'organisation des producteurs peut aussi être un facteur de déblocage : la création de coopératives de services prenant en charge l'approvisionnement en intrants et la commercialisation des produits peut permettre aux paysans de s'organiser et d'accroître leur poids face aux commerçants. De même, l'organisation du crédit rural peut permettre aux agriculteurs de réaliser des investissements sans pour autant avoir recours aux usuriers.

Le succès des actions de développement rural résulte le plus souvent d'une conjonction entre l'existence d'un *référentiel technique approprié,* la présence d'un *environnement économique motivant* (prix payés aux producteurs élevés et stables, approvisionnement en intrants et commercialisation efficaces, système de crédit fiable et reproductible) et la présence *d'un système efficace de diffusion des innovations.*

L'intervention de terrain doit donc pouvoir élargir son champ d'action, au-delà du domaine purement technique, aux innovations économiques, sociales et organisationnelles. On observe d'ailleurs de nombreuses initiatives dans les domaines de l'appui aux organisations de producteurs, aux structures d'approvisionnement, de commercialisation ou de crédit rural.

1.5. Insertion institutionnelle : partenariat et formation

Il sera rarement possible aux promoteurs d'une action de développement d'agir sur la définition de la politique agricole. Ils seront cependant au contact avec les institutions locales : administration, services de recherche et de développement, agences d'approvisionnement et de commercialisation, etc.

L'expérience montre que les projets ont souvent des relations faibles avec ces institutions, pour des raisons diverses : crainte de s'inscrire dans des bureaucraties lourdes et paralysantes, crainte d'être confondu par les paysans avec les représentants de l'administration... Cette attitude, même si elle peut être compréhensible, conduit à l'isolement de l'intervention, et limite les possibilités de valoriser les acquis obtenus au travers des institutions nationales. *L'intervention risque alors de se satisfaire de sa marginalité qui la rend peu attrayante pour les gouvernements et les bailleurs de fonds.*

L'intervention doit s'articuler, aussi bien avec les structures paysannes qu'avec les institutions en place qui représentent souvent le seul moyen de relayer les acquis obtenus au niveau local à une échelle économiquement significative. L'intervention se retrouve alors au carrefour de préoccupations et d'intérêts divers, souvent divergents. *Elle doit être négociée entre les différents acteurs sociaux qui sont susceptibles d'y participer* et ce le plus tôt possible dans le processus de conception et mise en œuvre du projet.

Dans ce cadre, la composante formation des projets de développement est de toute première importance : formation des cadres (qui a souvent été la seule prise en compte), mais aussi formation initiale et professionnelle des agents de développement, et formation des paysans. Si l'intervention doit se concevoir dans une relation de partenariat avec les acteurs locaux, et particulièrement les paysans, cette composante « formation » est appelée à jouer un rôle déterminant.

1.6. Conclusion : une approche souple

Les quelques observations qui précèdent illustrent certaines des questions que se posera l'initiateur d'une intervention de développement rural. Ces questions sont souvent complexes, et il est hors de question de fournir une méthode universelle, recette passe-partout. Les interventions devront être souples et adaptables en fonction de leurs objectifs spécifiques et des conditions dans lesquelles elles se situent.

- **Nous retiendrons quelques principes clés :**
  - — la reconnaissance de la cohérence des différents acteurs ;
  - — la nécessité de comprendre leur stratégie pour mettre en œuvre des actions qui soient compatibles avec elles ;
  - — la nécessité de prendre en compte la diversité existante, entre régions, entre terroirs et entre unités de production, dans la conception des interventions ;
  - — la nécessité d'élargir les interventions aux domaines non techniques : économiques, sociaux, organisationnels ;
  - — la nécessité d'envisager l'action, outre sa finalité en terme de développement, comme un outil de diagnostic ;
  - — la nécessité pour cela de pouvoir émettre rapidement les « bonnes » hypothèses concernant les principales contraintes au développement, et de se doter d'un mécanisme performant de suivi-évaluation ;
  - — la nécessité d'un cadre institutionnel clair, qui permette à l'action de dépasser le niveau local pour démultiplier ses acquis et avoir un effet économique significatif. Le partenariat et la formation sont appelés dans ce cadre à jouer un rôle déterminant.

2. DES OUTILS

La mise en œuvre d'une telle approche s'appuie sur l'utilisation d'outils. Ces outils permettent d'appréhender le fonctionnement de l'agriculture à plusieurs niveaux d'organisation : la région, l'unité de production, la parcelle et le troupeau.

2.1. Découvrir l'agriculture d'une petite région

La « zone-cible », souvent définie par l'institution qui conduit l'intervention en fonction de ses objectifs, peut comprendre des régions très diversifiées exigeant des interventions, elles aussi diversifiées. Il est souvent nécessaire d'identifier des zones « relativement » homogènes reflétant un mode de mise en valeur du milieu par une communauté rurale (le niveau d'homogénéité recherché dépendra des objectifs, des ressources disponibles en temps en main-d'œuvre et en argent, et des caractéristiques du milieu). Nous nous plaçons dans l'hypothèse où nous cherchons à comprendre le fonctionnement de l'agriculture dans une telle zone.

On dispose pour cela de quatre sources principales d'informations.

- **L'analyse de documents :** il peut s'agir de recensements, études, enquêtes, analyses historiques, photographies aériennes, cartes topographiques, pédologiques, d'utilisation des sols, etc.

Ces documents permettent de préparer le travail de terrain, et aident à l'interprétation des observations qui sont alors faites. Dans le cas de documents anciens, particulièrement des cartes ou des photographies aériennes, leur comparaison avec la situation observée permet d'identifier les principaux changements qui sont intervenus, que l'on doit chercher à expliquer.

• **L'observation du paysage :** le paysage reflète l'utilisation par une communauté rurale de son environnement. Son observation est une source importante d'informations. Elle est réalisée à partir de points hauts dominant la région, et de transects que l'on choisit de telle sorte qu'ils traversent les principales hétérogénéités: topographie, types de sols, zones érodées, zones où les cultures changent, proximité des habitations et des infrastructures, etc. (on choisit les critères qui semblent influencer le plus l'utilisation du milieu).

Le paysage variant sensiblement en fonction de la saison, des transects réalisés au cours de saisons différentes fournissent des informations complémentaires : rotation de cultures, irrigation pendant la saison sèche, utilisation des terres après la récolte, zones de parcours, etc.

L'observation peut porter sur de nombreux critères : sol, pente, végétation spontanée (principaux arbres et arbustes, espèces et degré de recouvrement de la strate herbacée, nature et qualité des pâtures), cultures en place, techniques utilisées par les paysans rencontrés auxquels on peut demander des informations permettant de compléter les observations.

Les observations peuvent être synthétisées sur des diagrammes paysagers. L'analyse du paysage, dans un aller-retour permanent entre l'étude des documents, l'observation de terrain et l'analyse de ces informations, permet d'acquérir une première connaissance de l'agriculture régionale, que viendront compléter des enquêtes auprès des agriculteurs.

• **Les enquêtes auprès des paysans :** elles s'adressent particulièrement à ce stade aux agriculteurs rencontrés lors des parcours de terrain. Elles portent souvent sur la parcelle sur laquelle travaille le paysan, sur les cultures qui s'y trouvent, sur la technique qu'il met en œuvre, sur l'histoire de la parcelle. On pose en général des questions liées à la situation dans laquelle se trouve l'agriculteur, sur laquelle il lui est facile de fournir des informations.

• **Les entretiens avec les informateurs privilégiés :** ces informateurs sont les personnes connaissant particulièrement bien la région. Il peut s'agir des paysans les plus âgés, de responsables locaux... Ces enquêtes peuvent, comme dans le cas précédent, fournir des informations manquantes sur les pratiques agricoles, les problèmes rencontrés, la diversité du milieu. Elles permettent particulièrement d'aborder l'histoire de la région et de l'agriculture. On cherche à identifier les principaux changements qui sont intervenus (changement de pratiques agricoles, apparition ou disparition de certaines cultures, modification de l'environnement économique...), à les dater approximativement, et à les expliquer.

A partir de cette première approche de l'agriculture régionale, qui doit pouvoir être réalisée rapidement (quelques semaines), on est en mesure de formuler les premières hypothèses sur le fonctionnement de l'agriculture régionale et les principales contraintes auxquelles sont confrontés les agriculteurs.

2.2. Les enquêtes en milieu rural

2.2.1. QUELLE ENQUÊTE, POUR QUEL OBJECTIF ?

Il n'existe pas de modèle « universel » d'enquête : une enquête est conçue en fonction d'objectifs particuliers :

— une enquête peut être réalisée sur un échantillon aléatoire large si l'objectif est par exemple de caractériser, « en moyenne », la population enquêtée dont on recherche une image globalement représentative, statistiquement. Elle peut être réalisée sur un échantillon raisonné, si l'on s'intéresse à la diversité existante au sein de la population. L'échantillon est alors choisi en fonction de critères que l'on juge caractéristiques de cette diversité ;

— l'enquête peut porter sur des critères quantitatifs. On utilise en général un échantillon aléatoire et important, pour limiter les erreurs. La question de la fiabilité des informations reste néanmoins posée : elle dépend en grande partie de la qualité des relations entre l'enquêteur et l'enquêté. Elle peut porter sur des critères qualitatifs, comme l'histoire de la région, le fonctionnement des exploitations, etc. Il est souvent difficile dans l'analyse de données uniquement qualitatives d'extrapoler les résultats, de dépasser le niveau des études de cas pour aboutir à une perception globale de l'agriculture régionale ;

— l'enquête peut être menée avec un questionnaire « fermé », le paysan ayant à répondre à une liste préétablie de questions. Elle peut être menée de façon informelle, l'enquêteur ayant alors un guide d'entretien, ou une liste indicative d'informations à recueillir. L'enquêteur est alors soucieux de laisser le paysan suivre le cours de sa pensée, orientant la discussion vers les domaines qui l'intéressent ;

— l'enquête peut aussi être un processus permanent de collecte de l'information, comme le suivi d'exploitation. Il s'agit alors, sur une base régulière, hebdomadaire par exemple, d'enregistrer un certain nombre d'informations sur l'unité de production : techniques mises en œuvre, temps de travaux, dépenses, revenus monétaires, etc. Ce processus est lourd et coûteux. L'expérience prouve que les résultats obtenus ne font souvent que confirmer les hypothèses formulées à l'issue des enquêtes réalisées avant la mise en place du suivi. Il peut cependant se justifier dans le cas où l'on recherche des données quantitatives précises, difficiles à obtenir autrement : temps de travaux, budgets familiaux détaillés...

Il faut donc faire des choix et définir le type d'enquête le plus adapté aux objectifs poursuivis. L'expérience permet de tirer un certain nombre d'enseignements sur la conception et la conduite des enquêtes.

Dans le cas particulier d'interventions de développement agricole dans lesquelles on cherche à identifier les principaux types d'exploitations agricoles de façon à concevoir des interventions spécifiques adaptées à chacun d'entre eux, une association de ces différents types d'enquêtes peut être utilisée.

Sur la base d'enquêtes informelles portant sur la région, l'histoire et les changements ayant affecté l'agriculture, les principales contraintes aux-

quelles font face les agriculteurs, on identifie les facteurs semblant affecter le plus la différenciation des exploitations (par exemple l'accès au foncier, la disponibilité de bœufs, la possession d'une charrue, le volume de main-d'œuvre disponible, la proximité des infrastructures et l'accès à un centre de commercialisation, etc.).

Ces critères permettent de choisir dans la population des situations contrastées, et de construire un échantillon raisonné représentatif de ces différentes situations. Des enquêtes approfondies conduites sur cet échantillon permettent de comprendre les stratégies des agriculteurs, le fonctionnement des unités de production retenues, et leur tendance d'évolution.

On peut ensuite définir des critères représentatifs de chaque type défini et sur la base d'enquêtes formelles larges, identifier l'importance relative de chacun de ces types. Sur cette base, des priorités peuvent être établies et des interventions adaptées peuvent être mises en place.

2.2.2. QUELQUES CONSEILS PRATIQUES

Les enquêtes sont en général longues et coûteuses. Il convient donc de prendre un certain nombre de précautions pour les valoriser au mieux et minimiser les erreurs :

- définir avec précision les objectifs des enquêtes ;
- étudier les travaux déjà réalisés sur le thème choisi : une bibliographie, même rapide, permet de mieux cibler les problèmes ; elle peut aussi éviter de refaire un travail réalisé auparavant par d'autres ;
- identifier les renseignements qui devront être recueillis, les personnes à enquêter, et choisir l'approche la plus adaptée. Il sera utile de discuter avec les paysans de l'enquête, des objectifs poursuivis, de l'utilisation qui sera faite de l'information, du rattachement institutionnel des enquêteurs et de leurs liens avec l'administration. De la qualité des relations qui s'établissent entre les enquêteurs et les agriculteurs dépend, en grande partie, la fiabilité des informations et la qualité du résultat final ;
- s'interroger sur les moyens disponibles, en temps, en main-d'œuvre, en véhicules et en budget de fonctionnement, pour la conduite des enquêtes et pour leur dépouillement (récolter des données que l'on n'analysera pas est inutile). Il faudra prendre en compte la formation des enquêteurs, et les ressources éventuelles à consacrer à une formation complémentaire, ainsi que le mode d'analyse des données qui est retenu (manuel ou informatique) ;
- identifier le degré de précision de l'information qui est nécessaire : ce renseignement sera-t-il utile ? sera-t-il exploitable ? (Faut-il par exemple enregistrer les temps de travaux sur une base horaire, par demi-journée, par journée ?). Ce degré de précision est naturellement à mettre en relation avec les moyens disponibles ;
- préciser la date à laquelle devra être conduite l'enquête, en fonction des informations qui sont souhaitées (un suivi cultural, par exemple, devra commencer à la préparation du sol), ainsi que de la disponibilité probable des agriculteurs (moins disponibles en périodes de pointe de travail par exemple).

L'expérience montre que cette phase de réflexion « a priori » est souvent négligée : l'écart entre les résultats et les objectifs initiaux est souvent important, car les objectifs sont définis sans prendre en compte les moyens disponibles, ni les contraintes qui affectent le travail de terrain :

— construire l'échantillon et construire le questionnaire ou le guide d'enquête en tenant compte de la formation des enquêteurs : plus elle sera faible, plus le questionnaire devra être fermé. Dans le cas d'un questionnaire, on tendra à privilégier au début les questions générales, faisant peu référence au cas particulier de la personne enquêtée, et l'impliquant peu. On prendra soin de formuler les questions de façon claire, en se référant si possible à des périodes ou à des objets précis, de façon à éviter les réponses normatives (les conseils du vulgarisateur, ce que le paysan aurait aimé faire...) ;

— il peut être très utile de tester le questionnaire, pour l'adapter en fonction des réactions des paysans, supprimer les questions qui s'avèrent superflues, en rajouter d'autres ou les reformuler ;

— lors de la conduite des enquêtes, il sera utile de vérifier quand c'est possible les informations recueillies en recoupant différentes sources d'informations ou en ayant recours à l'observation directe ;

— une analyse progressive des données recueillies et des réunions régulières avec les enquêteurs permettent de réorienter les guides d'enquêtes, de modifier les questions mal comprises ou mal perçues par les agriculteurs, et d'identifier les domaines sur lesquels manquent des informations importantes. Tout au long du processus, une association des enquêteurs à la réflexion menée accroît leur implication dans le travail, et leur compréhension des objectifs poursuivi. Cela les place en outre dans une situation d'apprentissage qui peut être valorisante et motivante ;

— de la même façon, des restitutions régulières auprès des agriculteurs peuvent accroître le climat de confiance en illustrant l'utilisation qui est faite de l'information. C'est en outre un moyen de rompre avec le simple rapport « fournisseur d'information-collecteur d'information », l'enquête devenant un moyen pour les paysans de réfléchir sur leur situation et leurs problèmes. L'enquête devient alors moyen d'animation, autant qu'outil de collecte d'information.

2.3. Les expérimentations en milieu paysan (EMP)

Aussi bien dans les domaines de l'agronomie que de la zootechnie, la recherche manifeste un intérêt croissant pour la pratique agricole, c'est-à-dire la mise en œuvre des techniques par les agriculteurs. C'est pour les chercheurs l'occasion :

— d'enrichir leur champ d'investigation en considérant les situations agricoles comme des lieux de recherche aussi féconds que la station expérimentale ;

— d'enrichir la connaissance des agricultures en comblant une lacune entre les recherches portant sur le milieu biophysique et celles consacrées aux sociétés rurales ;

— d'approfondir les questions relatives au transfert des techniques nouvelles élaborées par la recherche expérimentale. Au-delà de l'attribution des échecs de diffusion de ces techniques au caractère routinier et à la technicité déficiente des agriculteurs, la recherche s'interroge sur la validité même des thèmes techniques, cherchant à mieux les adapter aux conditions locales dans lesquelles ils doivent s'introduire.

L'utilité du travail « en conditions réelles » est largement reconnue. Elle ne remet pas en cause la nécessité de la recherche en station. Celle-ci permet une réduction de la problématique, en diminuant le nombre des variables, et permet d'expliquer les mécanismes de réponses aux interventions réalisées. Elle permet en outre la constitution d'un référentiel indispensable à l'interprétation des données produites par les EMP.

L'EMP reste cependant difficile à mettre en œuvre. Nous nous limitons ici aux enseignements acquis en agronomie, les expériences de la zootechnie dans ce domaine restant très récentes.

2.3.1. LA DÉFINITION DES OBJECTIFS

L'EMP peut remplir plusieurs fonctions :

— la mise en place d'expérimentations sur les champs des agriculteurs est un outil d'animation si une réflexion commune entre chercheurs, vulgarisateurs et agriculteurs se développe autour de ce processus. *Elle entre ainsi en synergie avec les activités de vulgarisation* ;

— ces expérimentations peuvent être une source d'information sur l'agriculture et les pratiques paysannes. Elles sont en ceci complémentaires des enquêtes. Elles contribuent au diagnostic ;

— elles permettent de tester les innovations mises au point en station et contribuent à la conception d'innovations adaptées aux conditions de production des agriculteurs ; elles permettent d'évaluer l'impact de ces innovations sur les unités de production auxquelles elles sont destinées.

La mise en place d'un dispositif d'EMP dépend des objectifs poursuivis, qui doivent être clairement explicités. Les cas sont nombreux d'expérimentations mises en place en milieu paysan, alors qu'une expérimentation en station aurait été plus facile à mener et plus efficace.

2.3.2. LE CHOIX DES VARIABLES EXPÉRIMENTALES

Le niveau des témoins pourra être choisi comme le traitement « zéro » (particulièrement dans les cas où l'on cherche à étalonner la réponse de la culture en fonction des niveaux d'intrants, les engrais par exemple). Il pourra être pris comme le traitement vulgarisé si l'on souhaite comparer l'innovation testée au « message » diffusé par la vulgarisation. Il pourra être pris comme la pratique paysanne moyenne, ce qui suppose que l'on soit en mesure d'évaluer cette moyenne et que l'on dispose donc déjà d'un certain volume d'informations sur l'agriculture paysanne. Il peut aussi être pris comme la pratique utilisée par chacun des agriculteurs chez qui sont mis en place les essais. Le problème se pose alors de l'exploitation des données (si les essais sont mis en place chez des agriculteurs différents, le témoin variant d'un cas à l'autre), et de l'extrapolation des résultats obtenus.

Les variables non expérimentales sont en général celles prévalant en milieu paysan. Elles doivent être spécifiées pour être à même de définir de façon précise les conditions d'extrapolation de l'essai.

Il est nécessaire de prévoir un *contrôle des sources d'hétérogénéité*. L'EMP devra souvent être accompagnée d'un travail important de collecte de données agronomiques et socio-économiques permettant de rendre compte de la variabilité du milieu, et d'interpréter les résultats. *L'analyse des données se fera parfois sur une base uniquement statistique ; parfois, elle intégrera des données qualitatives.*

Le choix du dispositif expérimental dépend des questions posées, des facteurs étudiés et contrôlés, et du niveau de contraintes pratiques de conduite des essais :

— un grand nombre de traitements devrait accroître la qualité des résultats ; il peut cependant avoir l'effet inverse si les essais sont si difficiles à gérer qu'ils sont mal suivis, les résultats n'étant finalement pas exploitables. Un grand nombre de traitements sera en outre difficilement acceptable par un paysan ;

— la taille des parcelles élémentaires varie en fonction de l'homogénéité du matériel végétal, de la nature des traitements, de la taille des blocs et du nombre de traitements ;

— le nombre de répétitions dépend de la variabilité de l'environnement (physique et socio-économique), du degré souhaité de précision des données, et des moyens logistiques dont on dispose pour la conduite des essais et l'analyse des données ;

— le dispositif doit être robuste. L'essai est sujet à de nombreux aléas (dégâts par les prédateurs, récolte faite à l'improviste et non enregistrée...). On s'efforcera de choisir *un dispositif qui intégrera ce haut degré de risque,* de telle sorte que l'essai reste exploitable, en dépit des « accidents » possibles. Le dispositif doit aussi être souple, pour permettre des modifications, des adaptations en fonction des imprévus ;

— il ne faut pas enfin négliger de prendre en compte dans le choix du dispositif les moyens disponibles : véhicules, budget, main-d'œuvre, mode d'analyse des données, niveau de formation des personnes mettant en place et suivant les essais. *Sous-évaluer ces contraintes conduit à la mise en place d'essais trop ambitieux et inexploitables* qui peuvent affecter la crédibilité des activités, auprès des paysans comme auprès des institutions impliquées.

2.3.3. LE CHOIX DES LIEUX D'EXPÉRIMENTATION

Il dépendra du « public-cible », devra prendre en compte la diversité des conditions environnementales, les moyens logistiques disponibles et la nécessité d'un accès facile. Ce choix dépend naturellement des relations que l'on a avec les agriculteurs. Le propriétaire des parcelles doit être associé au travail conduit, et doit être motivé. On peut mettre en place les essais chez les agriculteurs ayant déjà participé à des enquêtes dont les données permettront une meilleure valorisation des résultats. Il faut rester attentif cependant à ne pas concentrer l'ensemble des activités sur quelques

paysans qui peuvent, à la longue, n'être plus représentatifs de la population globale. *La mise en place de l'essai sur les parcelles d'un agriculteur doit faire l'objet d'un contrat clair.* Ce contrat peut, suivant les cas, prévoir une répartition variable des coûts, des risques et des responsabilités entre l'agriculteur et les « intervenants extérieurs ».

2.3.4. L'EXPLOITATION DES DONNÉES

Il est indispensable de vérifier la qualité des données recueillies, leur cohérence entre elles, leur ordre de grandeur « plausible ». Il faut éliminer les données douteuses qui pourraient fausser l'ensemble de l'analyse. Il faut identifier les données manquantes et les conséquences que ces manques auront sur les résultats. Si ces préoccupations sont présentes tout au long du suivi des essais, des ajustements progressifs sont possibles, qui évitent de constater, lorsqu'il est trop tard, les erreurs commises.

La restitution des résultats aux agriculteurs est importante pour maintenir le climat de confiance, mais aussi parce que leurs réactions sont souvent riches d'enseignements. Elles peuvent conduire à une modification des hypothèses de départ ou à une modification des protocoles adoptés. Il est d'ailleurs préférable de ne pas attendre les données analysées pour associer les agriculteurs à l'évaluation de l'expérimentation. *La visite des champs à plusieurs époques importantes du cycle de la culture peut permettre d'obtenir une évaluation beaucoup plus riche des expérimentations par les agriculteurs.*

Il est important enfin, une fois les données analysées, de réfléchir *a posteriori* à la validité du dispositif adopté, afin de l'améliorer pour les saisons suivantes.

2.4. Le suivi-évaluation

Le suivi-évaluation repose sur la réalisation d'un constat de départ, avant le lancement de l'action (constat qui peut être partie intégrante du diagnostic), et la conduite d'observations, tout au long de l'intervention. Il permet la collecte régulière d'informations nécessaires à la prise de décisions des responsables. Permettant l'évaluation progressive des actions menées, c'est un véritable outil de pilotage des interventions, complémentaire des évaluations *ex ante* et *ex post*.

Le suivi-évaluation remplit deux fonctions complémentaires :

2.4.1. IL PERMET L'ANALYSE POUR CHAQUE VOLET IMPORTANT DE L'INTERVENTION DU DEGRÉ DE RÉALISATION PAR RAPPORT A LA PROGRAMMATION, ET LA MESURE DES RÉSULTATS ET DE L'IMPACT OBTENUS

Cette analyse porte en général parallèlement sur les aspects techniques et financiers. On regarde l'intervention en se situant du côté des cadres.

Il s'agit de faire réfléchir les cadres sur les objectifs poursuivis et la cohérence entre ces objectifs, les priorités identifiées, les actions et les moyens programmés. On s'appuie pour cela sur une série d'indicateurs, propre à chaque action concernée. On distingue globalement :

— les indicateurs de réalisation (comparant ce qui a été programmé et ce qui a été réalisé, et donnant les causes des écarts) ;
— les indicateurs d'efficacité (par exemple taux de remboursement des crédits, carrés de rendement des cultures traditionnelles et améliorées, etc.) ;
— les indicateurs d'impact (proportion des paysans utilisant les innovations proposées, proportion des surfaces sur lesquelles ces innovations sont utilisées, etc.) ;
— les indicateurs de réaction des paysans aux actions. Ces réactions sont souvent révélatrices des vraies contraintes rencontrées. Leur prise en compte peut conduire à une modification des actions et des priorités au sein de l'intervention ;
— les indicateurs de coût, qui sont à mettre en relation avec les indicateurs précédents pour juger de l'intérêt réel des actions engagées.

Le choix des indicateurs dépend des actions, et des moyens disponibles pour suivre ces indicateurs, enregistrer les données et les analyser.

L'interprétation des données a lieu régulièrement, à l'issue de chaque campagne. Elle permet de comprendre ce qui s'est passé, et d'identifier les causes de variations et de changement.

2.4.2. IL PERMET DE COMPRENDRE LES CHANGEMENTS QUI AFFECTENT L'AGRICULTURE, LEURS CAUSES, ET DANS CE CADRE, L'EFFET DE L'INTERVENTION

Il s'agit de comprendre l'ensemble des effets du projet, que ceux-ci soient souhaités ou non. Cette démarche suppose *une bonne compréhension du fonctionnement des différents types d'unités de production* présents dans la région (elle rejoint en cela le travail de compréhension de l'agriculture régionale). Elle doit conduire à une évaluation du degré d'adéquation entre les propositions de l'intervention et les attentes de chaque type identifié.

Ce processus peut s'accompagner d'un suivi rapproché d'un nombre limité d'exploitations, représentatives des types identifiés. Le suivi permanent de ces exploitations permet d'améliorer la compréhension que l'on en a, de produire *un référentiel adapté sur l'agriculture de la région*, et d'évaluer les effets de l'intervention sur chacun des différents types (un tel suivi a des limites, présentées précédemment). On peut aussi avoir recours à *des enquêtes spécifiques* portant sur certains aspects jugés prioritaires : l'exode rural, le système de commercialisation et de détermination des prix, etc.

La combinaison de ces deux optiques permet une appréciation globale de l'intervention. C'est un moyen de redynamiser la vulgarisation et un outil de formation, pour les cadres, les techniciens et les producteurs...

CHAPITRE II

LE CLIMAT

I

INTRODUCTION ET GÉNÉRALITÉS SUR L'ACTION DES FACTEURS CLIMATIQUES

La climatologie intéresse l'agronome dans ses relations avec les cultures. Autrement dit, il sera essentiellement question dans ce chapitre d'agroclimatologie, celle-ci pouvant être définie comme « l'étude des réactions des cultures aux conditions du milieu climatique, en vue notamment de délimiter leurs aires d'adaptation et d'évaluer cette adaptation en termes de productivité relative ».

Le milieu climatique a deux composantes :
— le climat atmosphérique ou climat proprement dit,
— le climat édaphique ou climat du sol.

Le climat édaphique dépend lui-même du climat atmosphérique d'une part et des caractéristiques physiques du sol d'autre part. C'est dire que, dans le développement des cultures, climat proprement dit et sol sont intimement liés. Les caractéristiques physiques du sol jouent en effet un rôle considérable dans la réalisation du bilan hydrique réel.

Or la notion de bilan hydrique réel ou théorique, qui sera évoquée à plusieurs reprises dans ce chapitre est fondamentale car elle est la résultante de toutes les composantes du milieu climatique et qu'elle indique la quantité d'eau mise à la disposition de la plante au cours de ses différentes périodes végétatives.

En valorisant les acquis de la recherche agronomique, la modélisation du bilan hydrique a autorisé, ces dernières années, une meilleure appréciation du risque climatique. L'évapotranspiration réelle de la culture ETR constitue à présent un critère indispensable pour la réalisation du diagnostic agronomique.

A l'échelle de la parcelle cultivée, l'ETR simulée (modèle IRAT), colle relativement bien à la réalité, ce qui permet d'utiliser la technique de simulation pour caractériser les potentialités de production des cultures en relation avec leur niveau d'intensification.

A l'échelle de la toposéquence, les différents modes de redistribution de la pluviométrie commencent à être pris en compte pour évaluer plus précisément les relations entre le rendement et l'environnement.

A l'échelle régionale, les techniques de télédétection donnent déjà des résultats prometteurs : évaluation de la pluviométrie cumulée, localisation des poches de sècheresse, et dans un futur proche, appréciation de l'ETR régionale.

Les principaux facteurs du climat sont :
— température
— insolation
— pluviométrie
— pression atmosphérique
— humidité de l'atmosphère
— vitesse et direction du vent
— couverture atmosphérique
— évaporation
— etc...

Ces éléments interviennent tous à des degrés divers dans les transformations qui se succèdent dans la vie de la plante. Rappelons que la vie de la plante se caractérise par :
— un développement, qui est le passage des états différents (première feuille, floraison...)
— une croissance, phénomène quantitativement mesurable se produisant soit par l'accroissement de parties existantes soit par l'addition de parties semblables à des parties déjà existantes.

Les deux phénomènes sont en fait étroitement liés.

A chaque étape de développement atteint par la plante (stade phénologique) correspondent des besoins différents en éléments du climat. En outre, à certains stades, le végétal peut être soit très sensible, soit très exigeant. Il est évidemment important de connaître ces périodes critiques ainsi que les limites de résistance des plantes aux excès climatiques.

Pour simplifier l'exposé nous avons rassemblé les éléments climatiques en deux groupes :
— le groupe « chaleur » où l'on situera à la fois les problèmes liés à la température ambiante et ceux directement liés à l'insolation,
— le groupe « eau », où l'on situera aussi bien les phénomènes de précipitation que d'évaporation, d'humidité relative ou du régime des vents.

1. FACTEUR CHALEUR

1.1. La température

L'effet de la température se fait sentir sur la plante à deux niveaux :

— Au niveau des seuils de végétation.

Parmi les seuils de végétation il faut citer d'abord les seuils de gelée.

L'action du gel est mortelle sur les végétaux lorsqu'il y a formation de glace intracellulaire. En réalité les températures léthales sont variables mêmes pour des espèces ou variétés identiques car elles dépendent non seulement de la résistance propre des organes du végétal mais aussi de facteurs externes (microclimats, nature du sol, stade de végétation...).

Les « zéro de végétation » sont les températures à partir desquelles peut commencer la croissance. Ce sont les seuils qui permettent le redémarrage du processus biologique de la plante. On parlera habituellement de zéro de germination en ce qui concerne les plantes annuelles et de zéro de croissance en ce qui concerne les plantes pérennes ou non fragiles des pays tempérés.

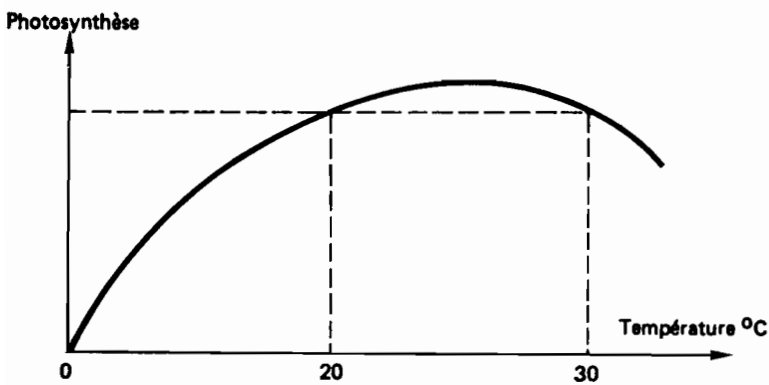
A titre d'illustration le zéro de germination du coton est égal à 13°7, celui du sorgho à 8°. Ces chiffres sont à considérer avec prudence : les zéros de végétation dépendent aussi du stade phénologique.

Les températures élevées peuvent également produire des accidents. L'accident physiologique le plus courant est l'échaudage qui affecte les céréales dans les cas de chaleurs brutales et fortes et/ou de vent desséchant pendant la période de maturation.

— Au niveau de la croissance.

La température intervient sur la vitesse de croissance. Si l'on fait varier la température sans changer les apports nutritifs on constate que la vitesse de croissance est faible aux basses températures puis qu'elle augmente, passe par un optimum (pour une température de l'ordre de 25-35°) pour décroître ensuite. Le phénomène se traduit par une courbe complexe.

De manière normale, la relation entre température et activité photosynthétique de la plante s'établit selon le graphique schématique suivant :

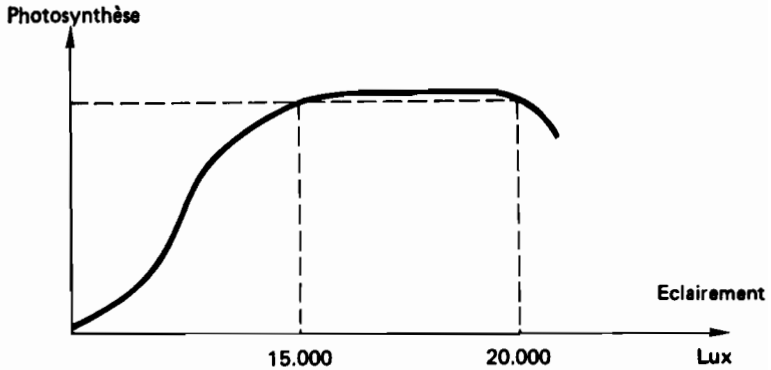


Signalons en outre que les variations journalières de la température (thermopériodisme) ont parfois une influence favorable sur la vitesse de croissance.

1.2. La lumière et l'insolation.

L'action la plus importante concerne l'assimilation chlorophylienne.

Un graphique du même ordre que le précédent traduit l'activité photosynthétique en fonction de l'éclairement ; on peut dire que l'éclairement est toujours suffisant en Afrique pour permettre l'action photosynthétique, même en période de mousson (ou hivernage).



La lumière n'agit pas sur la respiration mais accroît la transpiration.

Une autre action importante de la lumière sur la plante concerne la mise à fleur. Celle-ci est étroitement dépendante du photopériodisme, phénomène d'alternance des périodes lumineuses et obscures.

Les diverses plantes et variétés réagissent différemment : certaines dites « à jours longs » exigent un certain allongement de la durée du jour pour fleurir ; d'autres dites « à jours courts » exigent une certaine durée de la période obscure pour fleurir ; certaines plantes sont indifférentes. A titre d'exemple certaines variétés de riz sont à jours longs et d'autres à jours courts.

2. FACTEUR EAU

2.1. L'eau - pluviosité, évaporation.

Les besoins théoriques d'un végétal en eau sont, en une première approche, égaux aux valeurs de l'évapotranspiration potentielle totalisées pour la période de végétation (voir ci-après le paragraphe consacré au déficit hydrique et le chapitre concernant les besoins en eau d'irrigation, les formules utilisées pour la détermination des ETP).

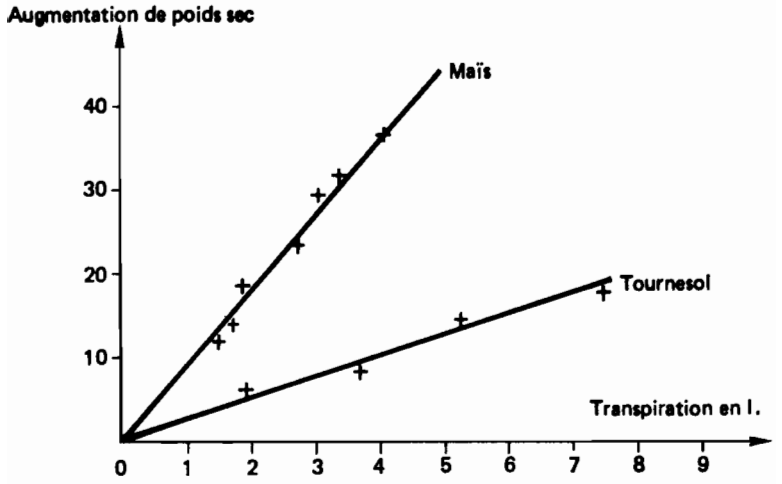
La différence entre la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle, souvent appelée bilan hydrique potentiel, constitue le déficit ou l'excédent en eau ; ce déficit peut être compensé soit par les réserves en eau du sol (enracinement profond) soit par un apport complémentaire d'eau (irrigation) ; l'excédent peut être corrigé par le drainage ou par les façons culturales.

On peut dire que l'évapotranspiration est la somme de la consommation propre de la plante pour l'élaboration de ses tissus (photosynthèse, transpiration) et de l'évaporation par le sol. C'est pourquoi des conditions de température et d'insolation élevées, un vent important, sont aussi des facteurs qui contribuent à l'assèchement d'un sol (compte tenu des pertes par drainage). Quant à la transpiration elle est la première utilisatrice de l'énergie absorbée par les feuilles (l'énergie absorbée est évaluée à 63 % de l'énergie reçue : 45 % sont affectés à

la transpiration contre 1 % seulement à la photosynthèse). La transpiration dépend de facteurs externes (température, vent, rayonnement) mais la plante dispose d'un mécanisme régulateur qui limite le débit transpiré à un maximum (stomates).

L'état d'hydratation des tissus intervient sur la production de matière sèche. On peut dire qu'en ce qui concerne le système foliaire l'hydratation normale varie entre 70 % et 90 %. En dessous de ces taux les activités de photosynthèse s'arrêtent (notamment en raison de la fermeture des fentes stomatiques) et les phénomènes de respiration et de catabolisme s'accroissent. Il existe une relation étroite entre le déficit hydrique et la photosynthèse.

Des recherches relativement récentes de corrélation entre production et consommation d'eau éclairent encore davantage les liaisons qui existent entre climat et physiologie de la plante (Robelin, INRA).



(d'après Duthil)

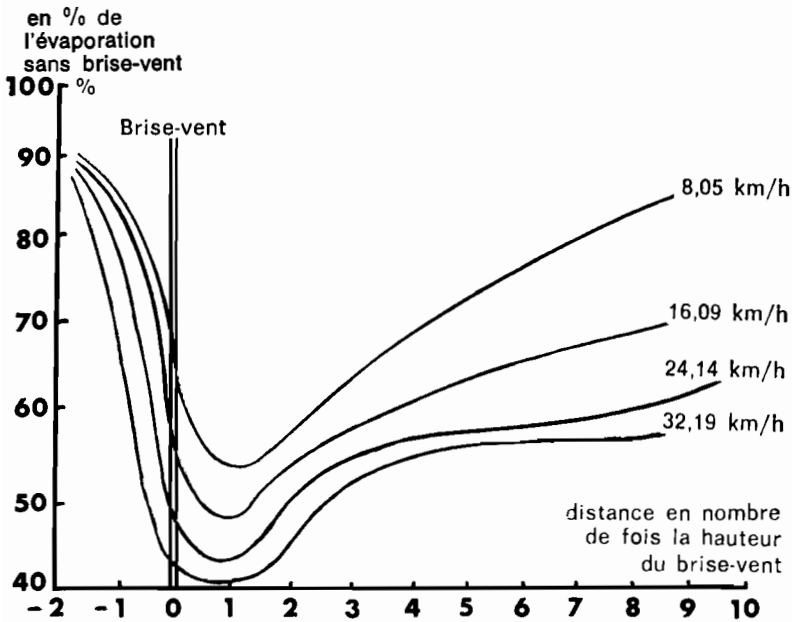
Il est important de noter que les exigences en eau de la plante diffèrent selon son stade de végétation. Par exemple la culture du riz pluvial présente à l'égard des besoins en eau des périodes critiques aux phases végétatives suivantes :
— levée
— taillage
— montaison, épiaison, floraison, début maturation.

Par contre la période se situant entre la fin du tallage et la prémontaison (d'une durée de 1 mois environ pour un riz à cycle de 150 jours par exemple), peut

accepter un certain déficit. Enfin une sécheresse survenant au cours de la dernière décade de la période de maturation est sans effet sur les rendements. La comparaison du découpage phénologique avec les séries pluviométriques et la connaissance des périodes de vulnérabilité apparaissent donc comme des questions capitales.

2.2. Le vent (action spécifique).

La meilleure façon de comprendre l'action du vent en ce qui concerne la consommation de « l'eau » est de montrer l'efficacité d'un brise-vent pour ralentir le phénomène.



Effet d'un brise-vent sur l'ETP selon la vitesse du vent (d'après Duthil).

En résumé, les différents facteurs climatiques interviennent conjointement dans la régulation des échanges entre la plante et son environnement.

L'interaction de ces échanges peut se schématiser comme suit :
plante $\rightleftarrows$ atmosphère (photosynthèse),
plante $\rightleftarrows$ sol (alimentation minérale et hydrique).

II

LES CLIMATS AFRICAINS. GÉNÉRALITÉS ET DONNÉES DE BASE

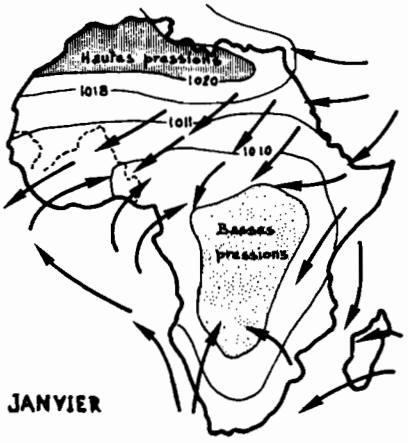
Le continent africain situé entre les latitudes 34° Nord et 34° Sud est compris pour sa plus grande part en zone intertropicale. Son climat est sous la dépendance du déplacement apparent du soleil entre les deux tropiques et du déplacement corrélatif des zones de pressions minimales équatoriales et des hautes pressions sub-tropicales.

Ce mécanisme entraîne un découpage des zones climatiques en bandes approximativement parallèles à l'équateur. Toutefois cette disposition s'observe mieux en Afrique occidentale qu'en Afrique orientale et australe.

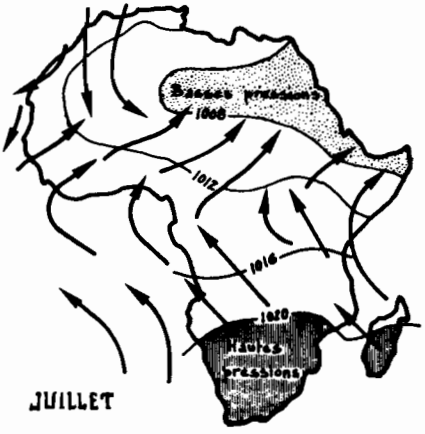
Si le facteur latitude est prédominant dans la formation des climats, le relief, l'orientation des côtes, la distance à la mer, l'existence de courants marins froids ou chauds déterminent également des variations.

La zone des pressions minimales se situe en région équatoriale, approximativement entre les latitudes 3 degrés Sud et 8 degrés Nord mais se déplace en latitude en fonction du déplacement apparent du soleil. Cette zone se caractérise par des pluies très fréquentes et une humidité relative de l'air toujours élevée en raison de courants ascendants qui refroidissent l'air et le rapprochent de son point de saturation.

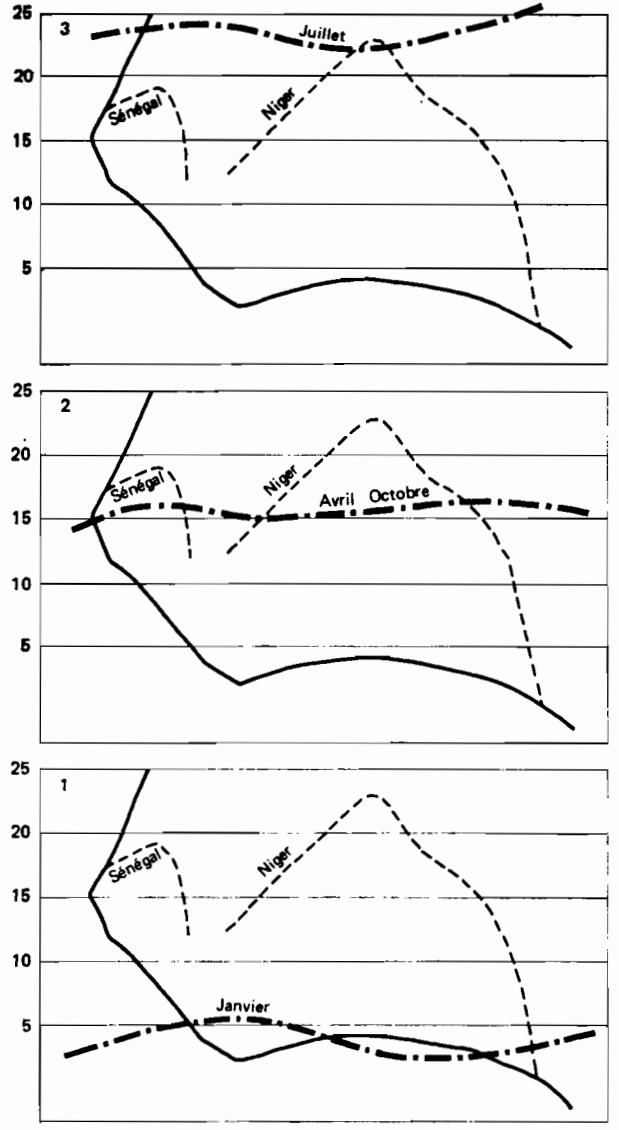
Pression atmosphérique et vents



Pression atmosphérique et vents

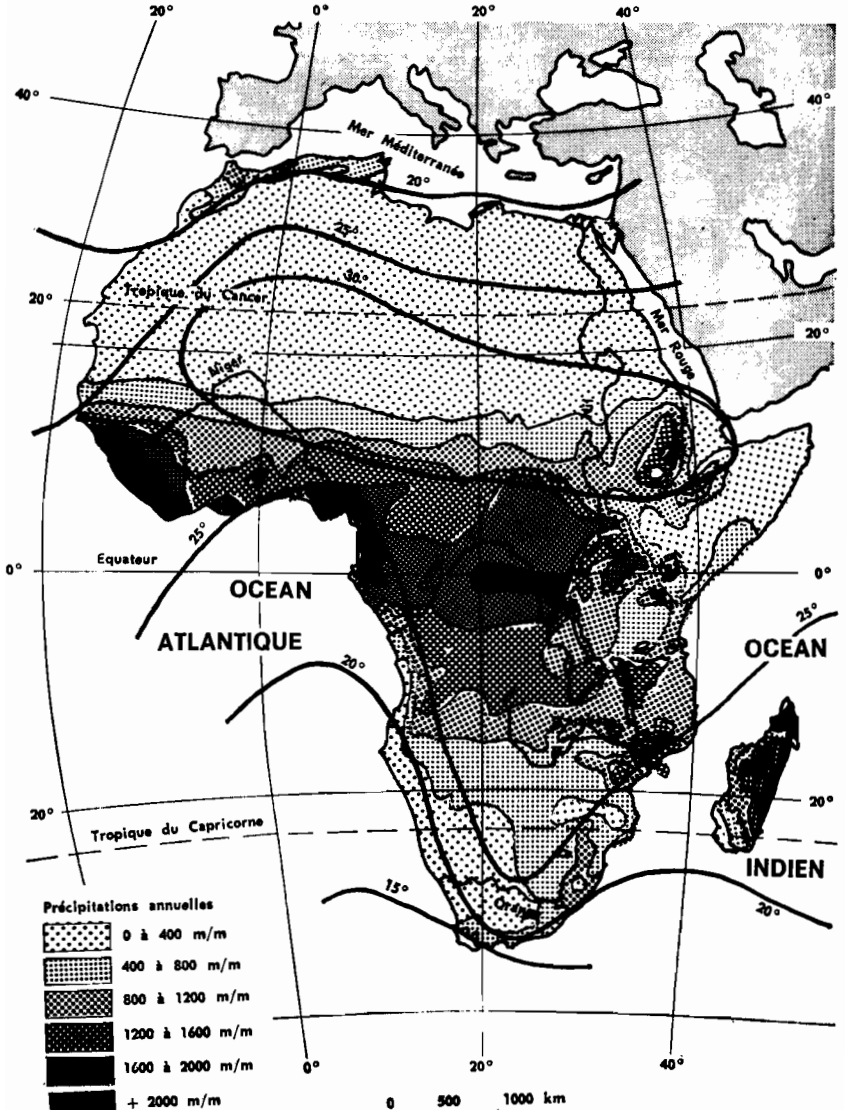


DEPLACEMENT DU FRONT INTER-TROPICAL



d'après MANSOUR SECK

PRÉCIPITATIONS ET TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES



La zone des hautes pressions se situe vers les latitudes 30° Nord et Sud (anticyclones des Açores et saharien, d'une part, de St-Hélène et du Kalahari, d'autre part). C'est de cette zone que partent les alizés dont la convergence sur la zone équatoriale y oblige les masses d'air à monter.

Le FIT (front intertropical) est le plan de rencontre des masses d'air tropical sec et équatorial humide. Il existe donc un FIT Nord et un FIT Sud. Le premier se déplace vers le Nord entre le 21 mars et le 21 juin puis vers le Sud entre le 21 juin et le 21 septembre ; le second se déplace vers le Sud du 21 septembre au 21 décembre puis vers le Nord du 21 décembre au 21 mars.

En fait, en hiver, s'installe sur le Sahara une zone de hautes pressions qui donne naissance à un vent sec de NE, l'harmattan, qui souffle en zone soudanaise et soudano-guinéenne ; du sud-est soufflent alors des vents analogues aux alizés en provenance des hautes pressions de l'Afrique du Sud.

En juillet, été de l'hémisphère Nord, le Sahara devient une zone de basses pressions, toute l'Afrique soudano-guinéenne est soumise alors à un régime de mousson avec remontée d'air marin S-SO ; c'est la grande saison des pluies sur les zones du littoral atlantique.

La zone maghrébine reste à l'écart de ce schéma car elle entre dans le complexe méditerranéen, sécheresse estivale, précipitations hivernales. En Afrique tropicale c'est le passage du FIT qui déclenche les précipitations et détermine le rythme des saisons. Dans les régions sub-équatoriales l'année est partagée en 4 saisons : longue saison pluvieuse de mars-avril à juillet-août, courte saison sèche en août-septembre, courte saison pluvieuse en octobre-novembre, longue saison sèche de décembre à février-mars. Au Nord du 8e degré de latitude Nord et au Sud du 3e degré de latitude Sud à peu près il n'y a que deux saisons puis la saison pluvieuse se raccourcit au fur et à mesure que l'on s'approche des tropiques.

Ce schéma général est perturbé localement par divers facteurs :

— la présence de la mer qui agit comme un élément modérateur ;
— les courants marins. A titre d'exemple : le courant chaud des Canaries au Nord des Côtes mauritanienne et Nord sénégalaise qui renforce l'humidité, ou le courant froid du Banguela au large des côtes de l'Angola et de la Namibie qui renforce la sécheresse ;
— les reliefs, beaucoup plus arrosés que les régions basses (ex : versant méridional du Fouta-Djalon).

En résumé les principales zones climatiques sont les suivantes :

— zone équatoriale (cuvette congolaise) avec une pluviosité continue et élevée toute l'année, une amplitude thermique pratiquement nulle ;
— zone guinéenne : précipitations également abondantes, température moyenne élevée, amplitude thermique très faible ;
— zone tropicale-humide : climat tropical intermédiaire entre le climat tropical type et le climat guinéen, précipitations abondantes, amplitude thermique peu marquée, 4 saisons ;
— zone soudanienne (ou tropicale). Cette zone à deux saisons est grosso modo partagée par l'isohyète 1 000 mm ; au Sud la saison pluvieuse dure environ 6 à 7 mois, au Nord 4 à 5 mois. Les précipitations sont plus irrégulières.

L'amplitude thermique s'accroît au fur et à mesure que l'on s'approche des tropiques.

— la zone sub-désertique (ou sahélienne) également à deux saisons avec des pluies de plus en plus faibles, lorsqu'on s'éloigne de l'équateur et une amplitude thermique de plus en plus marquée.

Les zones soudanienne et sahélienne sont très vulnérables sur le plan de l'économie de l'eau et fondamentalement dépendantes du déplacement du FIT. La carte page 33 traduit l'importance des précipitations selon les lieux.

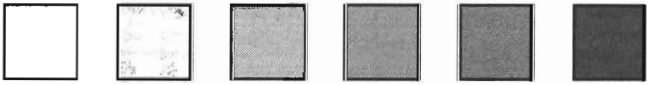
DONNÉES CLIMATIQUES DES PRINCIPAUX CENTRES DE LA ZONE INTERTROPICALE

d'après les normes climatologiques établies par l'Organisation Météorologique Mondiale pour la période 1931-1960 sauf mention particulière

LÉGENDE :

28	température moyenne maximale
23	température moyenne minimale

PLUVIOMÈTRIE MENSUELLE :



DERNIÈRE COLONNE :

1 500	Pluviométrie annuelle normale
/100	Nombre de jours de pluies dans l'année

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
ANGOLA :													
Luanda	28 23	29 24	30 24	29 24	28 23	25 20	23 18	23 18	24 19	26 22	28 23	28 23	367 / 32
Moçamedes	26 18	28 20	29 21	28 19	25 15	22 14	20 13	21 14	22 15	23 16	26 17	26 18	49 / 6
Nova Lisboa	26 14	26 14	28 14	26 14	26 11	24 8	25 8	27 11	29 13	27 14	26 14	26 14	1343 / 109
BÉNIN :													
Cotonou	31 21	33 22	32 23	32 23	33 22	30 21	29 21	25 22	29 22	31 21	32 23	32 21	1339 / 72
Kandi	35 16	37 19	39 23	39 25	36 24	40 23	31 22	30 22	31 22	34 22	36 18	36 16	1026 / 73
Natitingou	37 15	38 17	40 18	38 19	36 19	33 19	33 18	30 19	31 18	33 18	33 18	34 17	1340 / 78
BOTSWANA :													
Francistown	31 18	30 18	29 16	28 13	26 9	23 5	24 5	26 7	30 12	32 16	32 18	32 18	450 / 20

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
CAMEROUN :													
Douala	31 23	32 23	32 23	32 23	31 23	29 23	27 22	27 22	29 23	30 22	30 23	31 23	4026 / 174
Maroua	37 14	35 16	43 19	43 19	42 19	37 20	35 19	36 19	36 19	39 18	39 17	37 15	848 / 68
Ngaoundéré	30 13	31 15	32 17	31 18	28 17	27 17	26 17	26 17	26 16	28 16	29 14	29 13	1453 / 135
Nkongsamba	28 18	28 18	28 19	28 19	27 19	26 18	24 18	23 18	25 18	26 18	27 18	27 18	2172 / 173
Yaoundé	29 19	29 19	30 18	29 19	28 19	28 19	26 19	26 18	27 19	28 18	28 19	29 19	1554 / 154
COMORES :													
Moroni	30 23	31 24	31 24	30 24	29 23	27 23	27 22	27 21	28 22	29 23	30 23	30 23	2639 / 159
CONGO-BRAZZAVILLE :													
Brazzaville	30 21	31 21	31 22	32 22	31 21	28 17	27 15	28 16	30 20	31 21	30 21	30 21	1371 / 102
Ouesso	31 21	32 21	33 22	33 22	32 22	30 21	29 21	29 21	30 20	31 21	31 21	31 20	1596 / 115
Pointe-Noire	30 23	30 24	31 24	31 24	29 23	27 20	25 18	25 19	27 21	28 71	29 23	29 23	1254 / 128

COTE D'IVOIRE :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Abidjan	30 23	31 24	31 24	32 25	31 24	29 23	28 23	27 21	28 22	29 23	31 24	31 24	2144 / 131
Bondoukou	33 20	35 21	35 23	33 22	32 22	30 21	28 21	28 20	29 21	31 21	32 21	32 20	1178 / 79
Bouaké	34 21	35 22	35 22	34 22	32 22	31 21	29 21	29 21	30 21	31 21	32 21	33 21	1200 / 98
Dimbokro	34 21	35 23	35 23	35 23	33 23	32 23	30 22	29 22	31 22	32 23	34 23	33 22	1192 / 96
Ferkessedougou	35 16	36 19	36 22	36 23	34 23	32 22	30 21	30 21	31 21	33 21	34 20	34 25	1338 / 105
Gagnoa	32 21	33 22	33 22	33 22	32 23	30 22	29 21	28 21	30 22	31 22	32 22	31 21	1416 / 107
Man	32 19	33 20	33 21	32 21	31 21	29 21	27 20	27 20	29 20	30 20	31 20	31 19	1787 / 118
Sassandra	29 23	30 24	30 23	30 24	29 24	27 23	27 22	26 21	27 22	28 23	29 23	29 23	1518 / 97

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
BURKINA FASO :													
Bobo-Dioulasso	34 16	36 18	38 27	37 23	34 23	33 21	30 21	29 21	31 20	33 21	35 19	33 16	879 / 82
Ouagadougou	34 16	37 18	40 22	40 25	38 27	35 30	33 23	31 22	32 22	36 23	37 21	35 16	879 / 68
Ouahigouya	32 15	35 18	39 21	40 24	40 26	37 24	33 23	31 22	33 22	35 22	36 20	33 16	715 / 47
CENTRAFRIQUE :													
Bangassou	37 15	38 15	38 16	37 18	35 19	33 17	33 18	33 18	35 17	34 17	34 16	35 13	1750 / 138
Bangui	33 19	34 20	34 21	33 21	32 21	31 20	30 20	30 20	31 20	31 20	32 20	32 19	1560 / 140
Bria	35 15	36 17	35 20	33 20	32 20	30 20	29 19	28 20	30 19	31 19	32 17	33 14	1398 / 114
ETHIOPIE :													
Addis-Abeba	23 6	24 7	25 9	25 10	25 9	23 10	20 11	20 11	21 10	22 7	23 4	22 5	1089 / 138
Dire-Dawa	28 15	29 16	32 19	32 19	34 20	35 21	32 19	31 18	32 18	33 18	32 15	29 22	610 / 76
Jimma	29 7	30 9	30 10	30 11	29 11	26 13	29 12	25 13	26 13	27 11	28 7	29 6	1480 / 207

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
GABON :													
Bitam	29 20	29 20	29 20	30 20	28 20	28 20	26 19	27 19	28 20	28 20	28 19	28 20	1587 / 140
Franceville	30 20	30 20	31 20	32 20	30 20	28 19	27 18	28 18	30 19	30 20	30 20	29 20	1863 / 100
Libreville	31 24	31 24	31 23	31 23	31 24	29 23	28 22	28 22	29 23	29 23	30 23	30 24	3120 / 131
GHANA :													
Accra	32 23	32 24	32 24	32 24	31 23	29 33	27 22	27 21	28 22	30 23	31 21	31 23	797 / 54
Kumasi	33 13	35 16	34 19	34 20	33 20	32 19	30 19	29 18	31 19	32 19	32 18	32 15	1465 / 136
Tamale	38 17	39 19	40 21	39 21	37 21	34 20	33 20	32 20	33 20	34 20	36 19	37 17	1053 / 93
GUINEE :													
Conakry	31 22	31 22	32 23	32 24	31 24	29 23	28 22	27 23	29 22	30 22	31 23	31 23	4350 / 145
Kankan	34 15	35 18	36 21	36 22	33 23	31 21	29 21	28 21	30 21	31 21	33 20	33 15	1700 / 103
GUINEE BISSAU :													
Bissau	31 18	33 19	34 20	34 21	33 22	31 23	30 23	29 23	30 23	31 23	32 22	30 19	2023 / 117

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
KENYA :													
Eldoret	26 8	27 9	26 10	26 11	24 11	23 9	22 9	22 9	24 8	25 9	24 10	24 9	1023 / 119
Mombasa	31 24	31 24	31 25	30 24	28 23	28 23	27 22	27 22	28 22	29 23	29 24	30 **24**	1163 / 139
Moyale	31 18	31 19	31 19	27 18	25 18	24 16	24 16	24 16	25 16	26 18	27 17	**28** **18**	730 / 79
Nairobi	25 12	26 13	25 14	24 14	22 13	21 12	21 11	21 11	24 11	24 13	23 13	**23** 13	926 / 117
LIBERIA :													
Monravia	32 19	32 21	32 21	32 20	32 19	30 21	20 19	20 21	29 20	30 21	32 20	32 19	5050 / 207
MADAGASCAR :													
Diego Suarez	31 24	32 24	32 24	33 24	32 23	31 22	30 21	29 21	30 21	31 22	32 24	32 24	915 / 90
Fort Dauphin	30 22	29 22	28 22	28 20	25 18	24 17	24 16	24 16	25 17	26 18	28 20	29 21	1534 / 149
Ihosy	30 19	29 19	29 18	29 17	26 14	24 11	24 11	25 12	28 13	30 16	31 17	30 19	873 / 80
Majunga	31 23	32 24	32 24	33 23	32 22	31 20	31 19	31 20	32 21	33 22	33 24	32 24	1586 / 87
Tamatave	30 23	30 23	29 23	28 22	27 20	25 19	24 18	24 18	26 19	27 20	29 21	30 23	3530 / 239

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
MADAGASCAR (suite)													
Antananarivo	25 16	25 16	24 15	23 14	21 12	19 10	18 9	19 9	21 10	24 12	25 14	25 15	1380 / 160
Tuléar	32 22	33 22	32 21	31 19	29 16	27 14	27 13	27 14	29 15	29 17	30 20	31 22	348 / 32
MALI :													
Bamako	33 17	36 20	39 24	40 26	39 26	35 24	31 23	30 23	32 22	34 22	35 19	33 17	1099 / 84
Gao	31 14	33 16	38 20	41 23	43 26	43 28	39 26	36 24	38 25	40 24	37 21	32 16	261 / 28
Kayes	34 17	37 19	40 22	43 26	43 28	38 26	34 25	32 22	33 23	35 23	36 20	34 17	821 / 54
Segou	37 11	40 13	41 17	43 20	42 22	40 20	37 19	33 19	34 20	37 18	37 16	37 11	724 / 51
Tombouctou	32 13	35 15	38 19	41 22	43 26	42 26	38 25	35 24	38 24	40 24	38 18	32 14	225 / 23
MALAWI :													
Zomba	27 18	27 18	26 18	26 17	24 14	22 12	22 12	24 13	27 15	29 18	29 18	27 18	1325 / 120
MAURITANIE :													
Nouakchott	29 13	34 14	33 17	33 18	34 20	33 22	32 23	32 24	34 24	35 22	33 18	29 14	127 / 15
Nouadhibou	25 13	26 13	27 14	26 15	27 16	28 17	27 19	29 20	31 20	30 19	29 17	26 15	26 / 7

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
MOZAMBIQUE :													
Beira	32 24	32 24	31 23	30 22	28 18	26 16	25 16	26 17	28 18	31 22	31 22	31 23	1429 / 85
Mabote	33 18	32 18	32 18	31 17	30 14	28 13	27 12	28 13	30 15	31 16	32 16	32 17	540 / 29
NIGER :													
Agadès	35 6	38 7	42 12	45 15	45 20	44 21	43 21	41 19	41 19	41 17	38 11	34 7	164 / 17
Niamey	38 11	40 13	44 16	45 20	44 21	42 21	39 19	36 19	37 20	41 20	41 14	37 11	636 / 40
Zinder	37 10	40 12	43 17	43 21	44 22	42 20	38 18	38 18	38 18	40 19	38 15	35 11	549 / 37
NIGERIA :													
Enugu	34 18	36 19	36 21	36 21	31 20	32 19	31 20	31 20	31 20	33 19	33 19	34 17	1661 / 132
Ibadan	35 15	37 16	37 19	35 20	34 19	32 19	30 18	30 19	32 19	32 20	33 18	34 16	1118 / 94
Horin	37 14	38 14	38 19	37 20	35 19	33 19	32 19	32 19	32 19	34 19	35 15	36 13	1277 / 84
Joe	31 11	33 12	34 15	34 17	33 16	30 16	28 16	28 16	29 16	31 16	31 13	31 11	1414 / 106
Kane	36 9	38 11	41 13	42 19	40 21	38 19	34 18	33 18	34 19	35 16	37 13	35 11	868 / 63

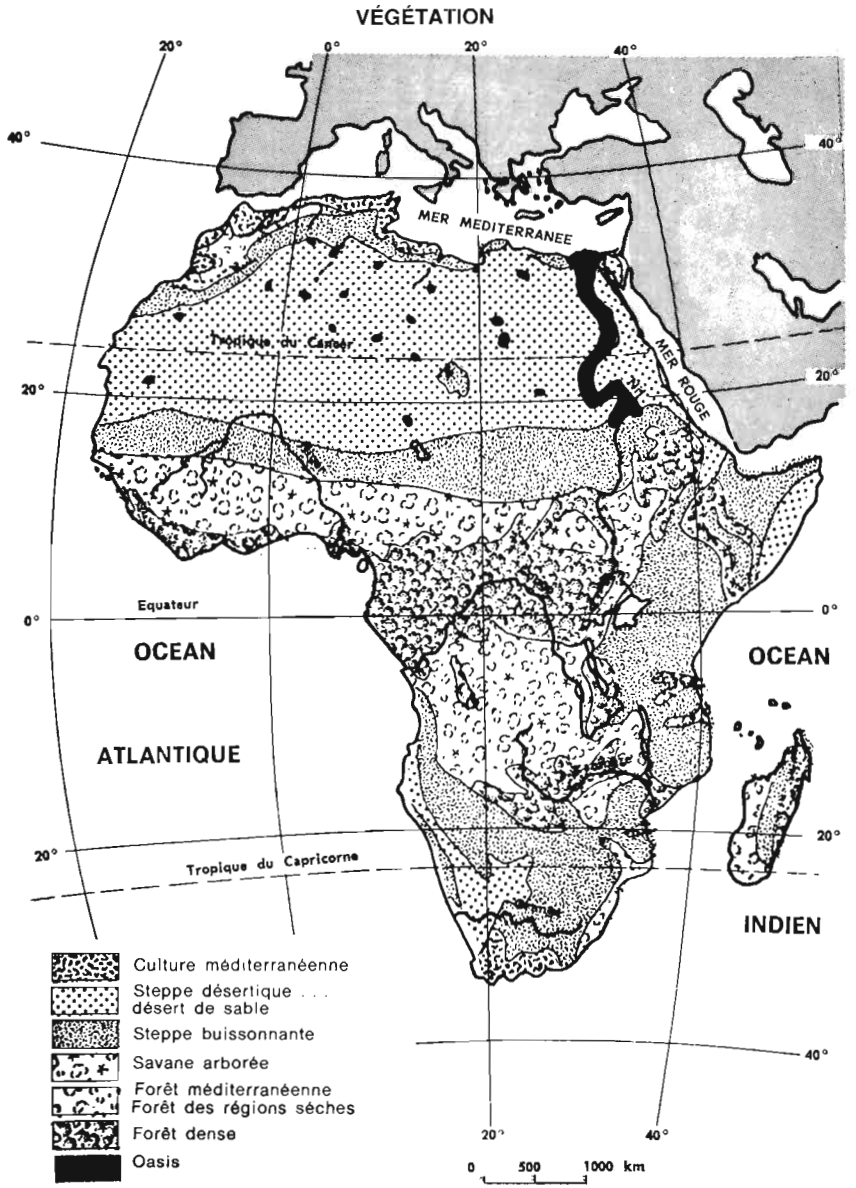
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
NIGERIA (suite)													
Lagos	33 20	33 22	34 22	33 22	33 22	31 22	30 22	30 21	31 22	31 21	33 22	33 21	1836 / 123
Port-Harcourt	33 18	34 20	34 21	34 20	33 21	32 20	32 21	31 20	33 21	32 21	33 22	33 19	2496 / 188
Yola	39 14	41 16	42 19	42 22	39 21	36 20	34 20	33 20	33 20	33 19	38 15	38 14	944 / 63
OUGANDA :													
Entebbe	29 15	28 15	29 16	27 16	27 16	26 16	26 15	27 14	28 15	28 15	29 15	28 15	1574 / 170
Kampala	28 18	28 18	27 18	26 18	26 17	25 17	25 17	26 16	27 17	27 17	27 17	27 17	1173 / 159
SENEGAL :													
Dakar	24 18	23 17	24 17	25 19	26 20	29 23	30 25	30 25	30 24	30 25	29 23	27 20	578 / 37

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
SENEGAL (suite)													
Saint-Louis	28 16	27 16	27 17	24 17	25 19	28 23	30 24	31 24	32 25	31 25	29 20	29 17	347 / 26
Tambacounda	38 10	41 12	43 16	44 17	44 21	42 19	35 19	34 19	34 19	37 18	39 13	38 10	942 / 57
Zinguinchor	32 16	34 17	36 18	37 19	36 21	34 23	31 23	30 25	31 23	32 23	32 21	32 17	1626 / 90
SOUDANT :													
El-Fasher	32 10	33 12	36 14	38 18	39 21	39 22	36 22	33 21	36 20	37 18	34 13	32 10	287 / 30
Juba	37 20	38 22	37 22	36 22	33 22	33 21	31 20	31 20	33 20	34 20	36 20	37 20	982 / 77
Khartoum	32 16	34 17	37 19	40 23	42 26	42 27	38 26	36 25	38 25	40 25	36 21	33 17	164 / 16
TANZANIE :													
Dar-es-Salam	31 25	31 25	31 24	30 23	29 22	29 20	28 19	28 19	28 19	29 21	30 22	31 24	1043 / 113
Kigoma	27 19	27 20	27 20	27 19	28 19	28 18	28 17	29 18	29 19	29 21	27 20	26 19	830 / 118
Moshi	33 17	33 18	32 18	29 19	27 18	26 17	26 16	27 16	29 16	31 17	32 17	32 17	1020 / 77
Tabora	28 17	28 17	28 17	28 17	28 16	28 15	28 14	29 16	31 17	32 19	31 19	28 18	882 / 100

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
TCHAD :													
Abéché	38 15	39 17	42 21	44 23	42 24	41 24	36 22	34 20	37 20	40 20	39 19	36 15	505 / 51
Sarh	37 17	39 19	40 22	38 24	36 24	33 22	31 22	30 21	31 26	33 22	36 19	36 16	1140 / 80
N'Djamena	34 14	36 16	39 20	41 23	40 25	38 24	34 23	31 22	30 22	37 22	37 18	34 15	646 / 71
Moundou	37 14	40 18	41 22	41 23	36 23	34 22	31 22	31 28	31 21	33 22	35 18	35 14	1228 / 84
TOGO :													
Lome	31 23	31 24	32 24	31 24	31 24	21 23	27 22	27 22	28 22	30 23	31 23	31 23	893 / 86

ZAIRE :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Bambesa	32 17	32 17	32 18	31 19	31 19	29 18	29 18	29 18	29 18	31 18	31 18	31 17	1765 / 170
Bendela	32 21	32 21	33 21	33 21	32 21	33 20	32 19	32 20	32 21	32 21	31 21	32 21	1850 / 125
Boende	33 20	32 20	33 20	33 20	33 20	31 20	31 20	31 20	32 20	32 20	32 20	32 20	1680 / 632
Lumumbaschi	28 16	28 17	28 16	28 14	27 10	26 7	26 6	28 8	32 11	33 14	31 16	28 17	1227 / 135
Luluabourg	29 20	29 20	30 20	30 20	31 20	31 18	29 17	30 19	29 19	29 20	29 20	29 20	1440 / 152
Manono	31 19	31 19	32 19	32 19	33 18	33 16	33 16	34 18	34 19	33 19	31 18	31 19	1198 / 95
Kinsangani	31 21	31 21	31 21	31 21	31 21	30 21	29 19	28 20	29 20	30 20	29 20	30 20	1761 / 128
Tshibinda	22 11	21 11	22 11	21 12	20 12	18 9	21 9	22 9	22 10	22 11	21 11	21 11	1866 / 177


VÉGÉTATION
20°
0°
20°
40°
40°
MER MEDITERRANEE
Tropique du Cancer
20°
NIL
MER ROUGE
Equateur
0°
OCEAN
ATLANTIQUE
OCEAN
INDIEN
Tropique du Capricorne
Culture méditerranéenne
Steppe désertique . . .
désert de sable
Steppe buissonnante
Savane arborée
Forêt méditerranéenne
Forêt des régions sèches
Forêt dense
Oasis
0 500 1000 km

III

L'ENREGISTREMENT DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES ET LEUR EXPLOITATION

1. SECTEUR CHALEUR

1.1. Température

1.1.1. MESURER LA TEMPÉRATURE AMBIANTE DE L'AIR.

Pour ce faire, on placera un thermomètre dans un abri météorologique aéré et peint en blanc situé entre 1,50 m et 2 m du sol sur une parcelle engazonnée éloignée de tout obstacle.

Les mesures de température à proximité du sol ou dans celui-ci sont pratiquées également car elles donnent de précieuses indications sur les phénomènes d'inversion de température (liés au bilan radiatif sol-atmosphère et donc fonction de l'émissivité du couvert végétal) et fournissent des renseignements sur les risques de gelée ou de basses températures.

Dans le cas ordinaire, on disposera dans l'abri deux thermomètres, l'un à minimum, l'autre à maximum.

La température minimale est en principe observée à 17, 18 ou 19 heures, la température maximale le jour suivant à 08 heures.

Remarque pratique 1 : du fait de leurs caractéristiques de fonctionnement, les thermomètres à maximum et à minimum doivent être installés dans l'abri en position légèrement inclinée.

Remarque pratique 2 : lorsqu'on ne dispose ni d'abri ni de thermomètres maximum et minimum, on peut avoir une assez bonne idée de la température ambiante à l'aide du thermomètre-fronde que l'observateur fait tourner à l'extrémité d'un fil, lui-même se trouvant à l'ombre et face au vent (à 6 heures pour température minimale et à 14 heures pour température maximale).

On peut enfin utiliser des thermomètres enregistreurs qui permettent d'éviter la permanence d'observateurs. Leur fiabilité n'est toutefois pas parfaite et il conviendra de les réétalonner régulièrement par comparaison avec un thermomètre à lecture directe.

1.1.2. ENREGISTRER ET EXPLOITER les résultats en calculant les moyennes journalières, décadaires, mensuelles, annuelles en adoptant l'estimateur $t = \frac{t\ max. + t\ min.}{2}$

On relèvera également systématiquement les valeurs et les dates des températures maximales et minimales ainsi que leur fréquence ; ce sont bien souvent ces valeurs qui fixeront les conditions agronomiques.

1.2. Insolation.

La connaissance de l'insolation est extrêmement importante ; « on admet qu'il y a insolation lorsque le rayonnement présente une intensité suffisante pour produire au sol une ombre portée à des objets opaques qu'il rencontre ou pour permettre d'apercevoir le disque solaire » (Arlery).

On enregistre la durée de l'insolation à l'aide d'appareils appelés héliographes ; on distingue les héliographes de type Campbell à principe calorifique et les héliographes de type Jordan à principe actinique. L'un brûle un papier sous une loupe (Campbell), l'autre « révèle » une couche sensible (Jordan).

Néanmoins, l'exploitation de ces documents est délicate et doit être confiée à des spécialistes car il convient de tenir compte des caractéristiques des différents appareils.

D'autres instruments (pyrhéliographes) sont utilisés ; ils enregistrent le rayonnement solaire direct lorsque celui-ci dépasse 0,05/cal/cm^2/mn, ce type de mesure qui nécessite un matériel très élaboré est évidemment le plus exact.

2. SECTEUR EAU

2.1. Les précipitations.

2.1.1. MESURER les précipitations de toute nature que l'on recueille dans des pluviomètres, ceux-ci étant situés le plus loin possible des obstacles.

Il est en fait extrêmement difficile de mesurer exactement une pluie du fait notamment des perturbations entraînées par l'installation et de la taille extrêmement réduite de l'échantillon.

Les pluviomètres devront être installés de manière que leur surface de captation soit rigoureusement horizontale et à une altitude à définir qui est en général de l'ordre du mètre par rapport au sol.

Les principaux appareils utilisés sont :

— le pluviomètre Association (diamètre 226 mm, surface de réception 400 cm^2),

— le pluviomètre du Weather Bureau (diamètre de réception 8 pouces = 0,203 m).

Il convient dans tous les cas de vérifier que l'éprouvette graduée utilisée corresponde bien au type de pluviomètre en place.

2.1.2. ENREGISTRER dans certains cas les précipitations à l'aide de pluviomètres enregistreurs ou pluviographes ; ces appareils sont basés sur deux principes, soit celui de l'auget basculeur, soit celui du siphon.

Ces instruments très précieux sont toutefois assez vulnérables, bouchage de la surface de réception, désamorçage du siphon, etc... ils sont toujours doublés d'un pluviomètre.

Il existe également des pluviomètres totalisateurs utilisés pour l'enregistrement des précipitations dans des régions très difficilement accessibles ; leur

emploi dans les régions désertiques exige certaines précautions (enterrement, protection contre les dégradations).

2.1.3. EXPLOITER LES RESULTATS EN CALCULANT :

a) La quantité totale de pluie tombée, pour le jour, la décade, le mois, l'année ainsi que les moyennes décadaires, mensuelles et annuelles sur de longues séries. Ces mesures permettent d'établir des diagrammes annuels et des cartes de courbes de même pluviométrie ou isohyètes.

b) La quantité maximale de pluie tombée en un temps réduit par exemple 1 h, 24 h, etc. (notion d'intensité de la pluie).

Ce type d'exploitation est particulièrement utile pour les travaux d'équipement Ponts et Chaussées, assainissement, drainage, travaux anti-érosifs. On comprend que cette approche se fera classiquement au moyen d'une analyse fréquentielle.

On pourra par ailleurs déduire d'autres variables directement intéressantes pour l'agriculture, date de la première pluie, durée maximale de la période sèche, fréquence de dépassement, etc.

2.2. L'évaporation.

La mesure de l'évaporation est extrêmement importante dans le domaine de la climatologie agricole en zone tropicale car elle permet d'approcher la notion de déficit hydrique (voir plus loin).

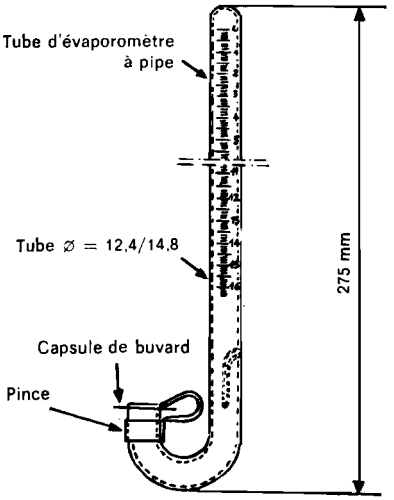
2.2.1. On peut tout d'abord saisir le pouvoir évaporant à l'aide d'un appareil appelé évaporomètre PICHE qui est constitué par un tube rempli d'eau obturé par une pastille de papier buvard. Ce tube est placé dans l'abri météorologique auprès des thermomètres. Une formule d'ETP récente, la formule de BOUCHET, relie ces relevés aux besoins en eau des plantes ; aussi cet équipement est-il actuellement très utilisé sur les périmètres d'irrigation français.

2.2.2. L'autre manière de mesurer l'évaporation consiste dans l'utilisation de bacs à évaporation par mesure de l'abaissement du niveau de la surface d'eau libre d'un bac (bac flottant, bac en surface ou bac enfoui au ras du sol). L'utilisation de tels bacs est très conseillée mais il convient de bien définir les conditions de mesure ; il conviendra toujours d'utiliser un bac normalisé classe A ou Colorado qui seul permet des comparaisons valables.

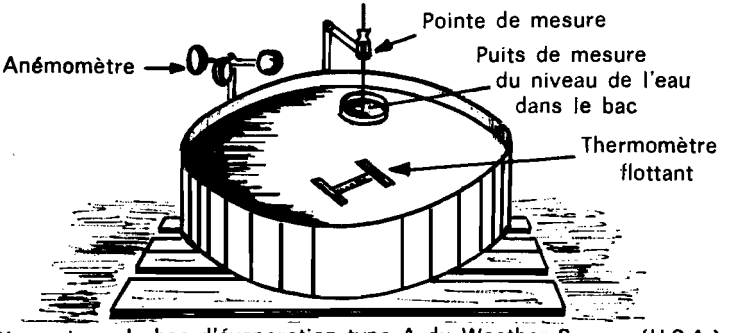
2.2.3. Les appareils que nous venons de décrire mesurent l'évaporation sur des surfaces d'eau libre ; il existe des installations qui permettent de mesurer l'évaporation du sol nu et celle de surfaces occupées par une végétation ; il s'agit de cases lysimétriques.

Ces lysimètres sont des cuves étanches à parois verticales, l'eau de drainage y est recueillie et mesurée, un bilan par pesée de l'ensemble de la case est fait régulièrement.

Un tel type d'installation exige de très gros investissements et n'existe que dans un petit nombre de pays (station de Coshocton dans l'Ohio, station de Valdaï en URSS, INRA France, etc...).



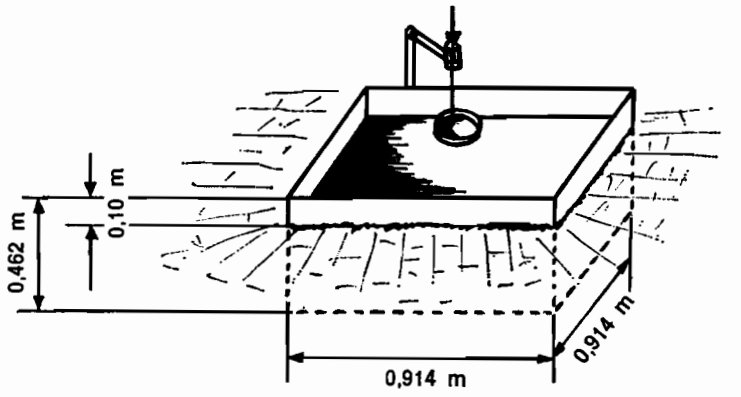
Evaporomètre Piche



Dimensions du bac d'évaporation type A du Weather Bureau (U.S.A.)

Diamètre 121,9 cm Hauteur 25,4 cm (10 inches)

Niveau d'eau maintenu à 5 cm du bord



Bac enterré type « Colorado » (États-Unis)

Un système moins onéreux consiste dans l'utilisation de parcelles d'essais équipées en surfaces naturelles d'évaporation.

2.2.4. L'exploitation des renseignements fournis conduit à la mesure des besoins en eau des végétaux selon l'époque et pour des durées variables, besoins journaliers, décadaires, mensuels, ou sur l'ensemble de la période végétative en fonction des précipitations enregistrées.

2.3. L'humidité relative.

L'état hygrométrique de l'air est défini par l'humidité relative exprimée en % et correspondant au rapport de la tension de vapeur d'eau à un moment donné à la tension saturante de vapeur d'eau possible à la température observée.

Cette mesure est effectuée au moyen du psychromètre, appareil constitué de deux thermomètres, l'un sec, l'autre humide, mis à l'abri du rayonnement solaire et en atmosphère ventilée (vitesse de l'air supérieure à 1 m/s).

Au moyen d'un abaque, on exprime l'état hygrométrique de l'atmosphère par l'observation de la différence entre les deux températures. (cf. chapitre Formulaire).

2.4. Le vent.

Le vent est mesuré à l'altitude de 10 m au moyen d'anémomètres. La direction et la vitesse du vent sont enregistrées : elles permettent d'établir des graphiques et des diagrammes (rose des vents) caractéristiques du lieu.

Leur interprétation est utile pour le calcul de l'ETP et pour la mise en place de brise-vent dans l'élaboration de schémas d'aménagement.

IV

LA RESSOURCE PLUVIOMÈTRIQUE, LE DÉFICIT HYDRIQUE ET LE RENDEMENT DES CULTURES

1. LA CARACTÉRISATION DE LA SAISON UTILE

Les conditions hydriques peuvent être caractérisées, en agriculture, soit très simplement par la pluviométrie, soit de façon très complète par le bilan hydrique (fonction de l'échelle des temps).

$$P \mp (I) \mp R \mp Dr \mp \Delta H - ETR = 0$$

P = pluviométrie
(I) = dose d'irrigation éventuelle
R = ruissellement
Dr = drainage ou remontée capillaire
ΔH = variation d'humidité du sol
ETR = évapotranspiration réelle

Des appareils utilisés dans les stations climatologiques permettent de mesurer directement l'évaporation (bac Colorado, bac de classe A, évaporomètre Piche) (voir ci-après description d'une station climatologique). Cependant, il faut plusieurs années d'observation pour obtenir les valeurs moyennes ayant une signification pour la zone située au voisinage de l'appareil. De plus ces appareils sont encore installés en nombre insuffisant pour connaître les valeurs de l'évaporation en chaque point.

En outre, la plupart des éléments caractéristiques du déficit hydrique ne peuvent être connus que par des mesures complexes exigeant parfois un appareillage compliqué.

La connaissance du déficit hydrique théorique pourra constituer dans nombre de cas une approximation suffisante.

Aussi de nombreuses formules permettant de calculer l'évapotranspiration potentielle (ETP) à partir des données climatologiques plus classiques et mieux connues telles que température, humidité relative de l'air, vitesse du vent, insolation, ont été proposées par différents auteurs (voir chapitre irrigation).

La pluie utile (ou efficace) qui tient compte du ruissellement et de l'évaporation au contact du sol peut être prise en première approximation égale à 80 % de la pluie totale.

Le déficit hydrique d'une culture peut être considéré comme égal à la différence entre l'ETP de la culture et la pluie efficace pour la période considérée. L'analyse du déficit hydrique pour une culture devra se faire sur des périodes de 10 jours (décade) ou parfois 5 jours (pentade).

Une méthode d'analyse agroclimatique en régions tropicales a été étudiée par P. Franquin (ORSTOM).

La période climatique de végétation. Son expression fréquentielle

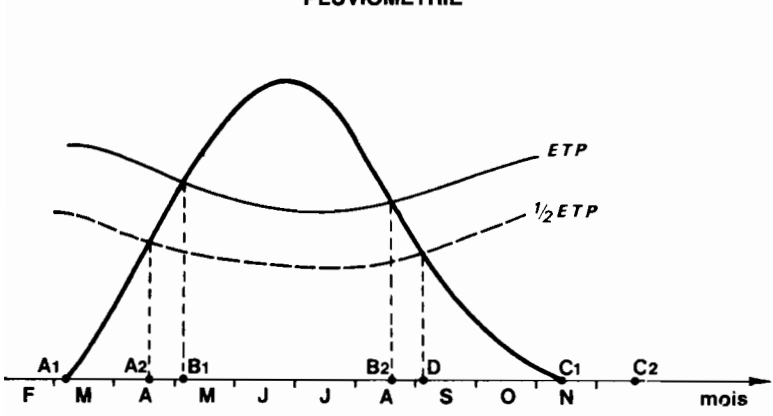
Les considérations qui précèdent visent notamment à proposer une description opérationnelle du cadre agroclimatique, à l'usage de la planification, de la recherche et de la pratique agricoles. Pour être opérationnelle, cette description doit satisfaire à deux conditions :

— elle doit se prêter à l'expression fréquentielle car à tout niveau de productivité correspond un niveau de probabilité qui traduit aussi un risque climatique ;
— elle doit être aussi synthétique que possible, en raison des difficultés que soulèvent les probabilités composées dès lors que l'on considère isolément les éléments climatiques.

L'expression synthétique la plus achevée, parce qu'elle intègre de façon continue tous les éléments climatiques qui participent au déterminisme de la production végétale, est la « période climatique de végétation », que l'on s'efforcera donc de modéliser de façon aussi représentative que possible.

Or, tandis que cette entité intègre de façon continue ces mêmes éléments, son traitement statistique ne peut procéder que de façon discontinue : notamment, en ne considérant dans le déroulement de la période de végétation que quelques événements remarquables, auxquels on confèrera, indépendamment, l'expression fréquentielle.

Sont des événements remarquables, entre autres, les instants déterminés par les intersections des courbes de pluviométrie P, d'évapotranspiration potentielle ETP et de demi-évapotranspiration potentielle 1/2.ETP (voir figure).



La projection sur l'axe des points d'intersection détermine des intervalles.

A1 C1 = saison pluvieuse. Elle ne rend compte que des apports, c'est-à-dire des précipitations de la première à la dernière pluie.

A2 C2 = saison humide. C'est la période qui va de l'instant où le déficit maximal du sol va en diminuant jusqu'au moment où ce déficit est de nouveau atteint dans la tranche d'exploitation racinaire. Elle se subdivise en :

A2 - B1 = période pré-humide

B1 - B2 = période humide

B2 - C2 = période post-humide

A2 B2 (ou A2 D) = période physique de végétation active possible.

Le découpage de la saison humide qui résulte de la projection sur l'axe des temps de ces intersections s'interprète bien en termes agronomiques :

— la période A_2B_1 est celle des semis. Le semis devient en effet possible sans aléas, en principe, dès l'instant où le sol reconstitue son stock d'eau utile, c'est-à-dire dès l'instant A_2, qu'il est possible, on le verra, de situer dans le temps à tout niveau de probabilité ;

— la période antérieure A_1A_2 (A_1 étant l'instant mal précisé de la première pluie, comme C_1 celui de la dernière) est celle du semis « en sec », qui bénéficiera des faux-départs de la saison humide (lorsque, après avoir dépassé 1/2.ETP, P redevient significativement inférieur). C'est surtout l'époque de la préparation du sol, en début de saison ;

— la période B_1B_2 est celle où les besoins en eau des cultures, alors en état de végétation active, peuvent en principe être satisfaits pleinement, au moins globalement sinon à tout instant ; ou bien ils ne le seront pas, du fait du ruissellement, ou bien ils le seront et il pourra y avoir comblement du déficit dans la zone exploitée par les racines et même drainage au-delà. Le rendement phytosynthétique et donc l'efficience de l'eau seront d'autant plus élevés que les cultures présenteront, au temps B_1, un indice de surface foliaire plus élevé, ce qui est une des raisons de la supériorité généralement constatée des semis précoces.

D'autre part, B_2 détermine la fraction utile de la floraison des plantes à type de floraison axillaire indéfinie, comme le cotonnier et l'arachide ; on constate aussi que les variétés photopériodiques (ou de cycle long) de mil et de sorgho (à type de floraison terminale) traditionnellement cultivées, donc bien adaptées, épient au voisinage de la position moyenne de B_2.

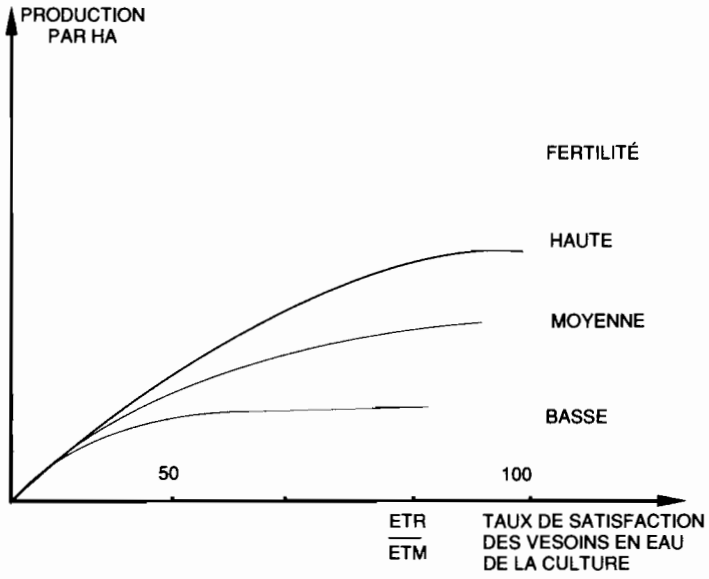
— la période B_2C_2 (C_2 étant l'instant où le stock d'eau utile du sol emmagasiné entre B_1 et B_2 se trouve épuisé), durant laquelle se développe la fructification-maturation, s'ouvrira en conditions d'autant meilleures que les pluies de cette période seront plus prolongées, mais surtout que le sol aura été plus profondément humecté par l'excès d'eau de la période B_1B_2. Un point D d'intersection de P et 1/2.ETP peut encore être considéré postérieurement à B_2 : on peut admettre en effet que tant que les pluies, après B_2, ne sont pas redevenues inférieures à 1/2.ETP, l'addition à la lame de ces pluies d'une lame d'eau puisée dans le sol par la culture permet à celle-ci de satisfaire son évapotranspiration maximale ; la fin de la période de végétation active sera dans ce cas non pas B_2 mais D.

Le principal intérêt de cette représentation simple et efficace des conditions

hydriques est qu'elle se prête bien à l'expression fréquentielle, événements et périodes qu'ils délimitent pouvant être analysés statistiquement puisque l'on aura, pour chaque événement considéré, autant d'intersections que d'années dans l'échantillon pluviométrique.

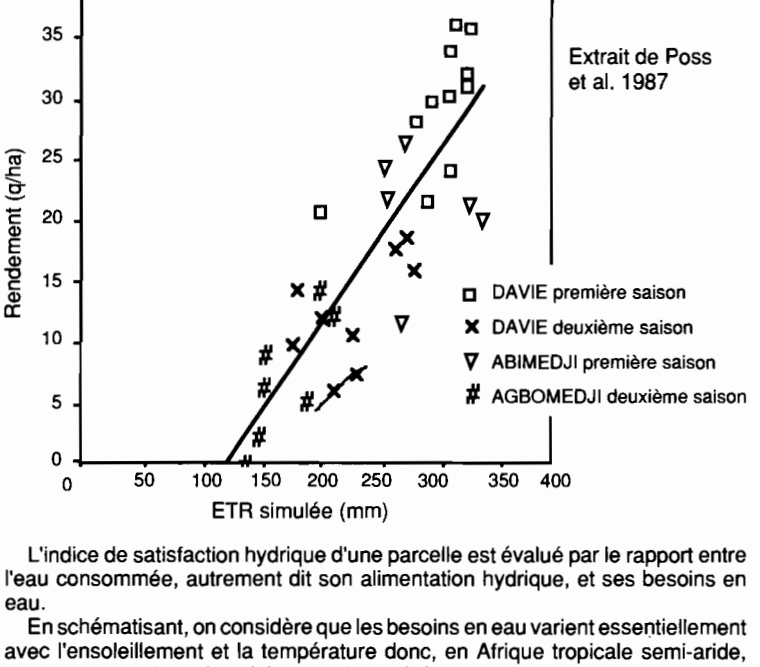
2. L'ALIMENTATION HYDRIQUE ET LE RENDEMENT

La productivité d'une parcelle, culture ou pâturage, dépend du taux de satisfaction des besoins en eau et de la fertilité du sol, suivant une relation schématisée par la figure ci-dessous :



Ainsi, au Togo méridional, le rendement du maïs semble bien relié à la valeur de l'évapotranspiration réelle simulée. Les rendements les plus élevés corres-

pondent à la première saison de culture, époque au cours de laquelle le rayonnement global est le plus important.



L'indice de satisfaction hydrique d'une parcelle est évalué par le rapport entre l'eau consommée, autrement dit son alimentation hydrique, et ses besoins en eau.

En schématisant, on considère que les besoins en eau varient essentiellement avec l'ensoleillement et la température donc, en Afrique tropicale semi-aride, surtout entre saison des pluies et saison sèche.

Ainsi, en agriculture pluviale, pendant l'hivernage, les besoins en eau des cultures sont relativement stables.

C'est pourquoi, dans les pays concernés, l'évaluation de l'alimentation hydrique de la parcelle permet de prévoir les productions pour une fertilité donnée.

Les hauteurs de pluies perdues par drainage en début de végétation sont le second terme à évaluer pour prévoir les productions. Comme l'un se déduit de l'autre très simplement, on présentera essentiellement les paramètres de l'alimentation hydrique de la culture.

2.1. Les paramètres conditionnant l'alimentation hydrique d'une parcelle et leurs évaluations.

- Paramètres climatiques

En saison de culture, la demande climatique (rayonnement global, tempéra-

ture), la pluviométrie (importance et durée de la saison des pluies) sont les paramètres climatiques essentiels de l'alimentation hydrique des cultures. En Afrique de l'Ouest, ces paramètres varient comme on le sait du Nord au Sud, et d'Est en Ouest.

Dans les études de zonage, la demande évaporative à l'échelle de la pentade a une variation inter-annuelle suffisamment réduite pour utiliser des données moyennes telles que proposées par AGRHYMET pour les pays du CILSS (1988). Pour des interprétations de variation de production à la parcelle, les données réelles sont préférables. Elles sont obtenues par des mesures au Bac Classe A ou par la formule de Penman.

Par contre, pour la pluviométrie, les données journalières sont indispensables compte tenu de leur très forte variabilité inter-annuelle. Dans les études de zonage, il est important de disposer d'au moins 15 ans de données. Cependant, il est préférable d'en avoir davantage pour pouvoir comparer la période avant 1970 à celle entre 1970 et 1987. En effet, on note un « assèchement » pendant cette dernière période en Afrique de l'Ouest.

- Paramètres sols de l'alimentation hydrique

Toutes les caractéristiques des sols qui modifient :
— l'infiltration des pluies,
— sa capacité d'emmagasinement en eau,
— la croissance racinaire,
— l'accessibilité de l'eau aux racines,

sont à prendre en compte pour l'évaluation de l'alimentation hydrique à la parcelle.

- Variation de la RU selon les sols

La réserve en eau du sol dépend essentiellement du type de sol (sa granulométrie en particulier) et de sa profondeur.

Aucun inventaire des sols tropicaux en fonction de leur RU n'est disponible, et c'est regrettable. A travers des données ponctuelles, on sait que c'est une caractéristique très variable.

Par exemple, entre les sols DIOR et DEK typiques du Centre du Sénégal, les RU sur 1,5 m varient de 80 à 180 mm environ :

TYPE DE SOL TRANCHE (cm)	DIOR	DIOR SOLE I NORD BAMBEY	DEK SOLE A BAMBEY
0 - 50	21	37	63
50 - 100	25	39	58
100 - 150	28	47	53
0 - 150	77	123	179

Mais les variations de RU selon les parcelles sont également importantes dans un même type de sol :

STOCK HYDRIQUE « UTILE » A LA CAPACITÉ DE RÉTENTION (en mm) SELON LE TYPE DE SOL d'après HAMON (1978 - SÉNÉGAL)

Mais les variations de RU selon les parcelles sont également importantes dans un même type de sol (cf tableau).

PARCELLE TRANCHE DE SOL (m)	RESERVE UTILE (mm) 1	2	3
0 - 0,1	8,8	11,9	9,6
0,1 - 0,2	22,1	24,9	24,0
0,2 - 0,4	45,9	55,5	54,8
0,4 - 0,6	74,3	85,3	81,6
0,6 - 0,8	104,3	116,7	104,4
0,8 - 1,0	142,9	153,1	130,6
1,0 - 1,2	183,7	190,7	162,4

- Les paramètres chimiques du sol

La matière organique (taux et nature), la fertilité minérale, le pH, l'aluminium échangeable du sol conditionnent l'enracinement.

La connaissance de l'évolution de ces paramètres est un élément fondamental pour comprendre la dégradation de la production. Ainsi, la réduction du temps de jachère a modifié ces caractéristiques chimiques et augmenté le risque de déficit de l'alimentation hydrique de façon considérable.

- Paramètres plante de l'alimentation hydrique

L'enracinement (sa profondeur, sa densité) est un facteur essentiel de l'alimentation hydrique.

Le développement racinaire dépend du sol, aussi bien de ses caractéristiques physiques, chimiques que biologiques.

La combinaison de la RU du sol et du profil racinaire aboutit à l'évaluation de la RUR, présentée plus haut.

Il faut souligner que, pour l'irrigation, la connaissance des RUR des parcelles est de première importance, car elle conditionne la mise en œuvre de ce système, en particulier les temps de travaux. Ainsi, plus la RUR est importante, plus « les tours d'eau » peuvent être espacés.

Les coefficients culturaux (kc) sont, comme le savent bien les irrigateurs, également un facteur important de l'alimentation hydrique à la parcelle. Originellement, ils ont été définis par le rapport entre les besoins en eau optimum de la culture (ETM) et la demande évaporative. Dans ce sens, ilssont évalués grâce au lysimètre.

La durée du cycle est évidemment un paramètre essentiel.

Enfin, les stades de développement, en particulier la phase reproductive, ont une importance de premier ordre pour expliquer les relations déficit hydrique et la production, surtout pour les céréales et les légumineuses à graine.

2.2. Simulation du bilan hydrique de la parcelle

L'intégration des paramètres mentionnés en vue de l'évaluation de l'alimentation hydrique peut être calculée par différents modèles plus ou moins complexes.

Un exemple de ces modèles est BIP 4 (Bilan hydrique pluvial 4) (FOREST et al, 1984). C'est un modèle qui nécessite des données assez généralement disponibles.

Il permet d'évaluer l'alimentation hydrique des parcelles pendant le cycle et les principales phases de développement, ainsi que le drainage.

3. LES BASES DU DIAGNOSTIC DE L'AMÉLIORATION DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE

L'évaluation des productions espérées en conditions optimales d'alimentation hydrique correspond, en la corrigeant, à la notion de potentialités agricoles souvent utilisée.

Celles-ci sont généralement comparées aux densités de population pour envisager des stratégies allant jusqu'à préconiser des déplacements de population vers des régions ou des pays présentant moins de risques.

Ce type d'approche présente une méconnaissance du problème tant technique qu'humain.

Tout d'abord, la méthode d'évaluation des potentialités sous-estime le rôle des paramètres de l'alimentation hydrique. En effet, en général, ne sont pris en compte que la pluviométrie et une évaluation très simpliste de la fertilité des sols. De ce fait, sont gommées toutes les variabilités réelles au niveau de terroir.

D'autre part, le vrai problème, celui du paysan, n'est pas considéré. Car il est motivé par des moyens valorisant son terroir ; il est découragé de savoir que dans sa région la densité de population est trop élevée par rapport à ses potentialités.

La proposition de diagnostic en vue de l'amélioration de l'alimentation hydrique est plus réaliste. Elle vise à répondre aux questions suivantes, pour des échelles variables allant de la parcelle du paysan à des zones de même pluviométrie en passant par le bassin versant et le terroir villageois :

— quels sont les effets des variations des paramètres climat-sol et plante sur l'amélioration de l'alimentation hydrique ?
— quel est pour leurs valeurs optimum le rendement espéré ?

En comparant l'estimation des rendements espérés aux rendements observés, on détermine les possibilités d'amélioration et la nécessité éventuelle de l'irrigation.

En déterminant l'effet des paramètres climat-sol et plante, se dégagent selon les régions des recommandations générales que l'on peut traduire en termes de techniques agronomiques à mettre en œuvre, de recherches à entreprendre, ou de planification à préconiser.

Pour modifier les paramètres de l'alimentation hydrique mentionnés dans la première partie, il faut les traduire en facteurs agronomiques. Les principaux sont :

— le contrôle du ruissellement,
— la durée de la culture et du cycle végétatif,
— la date de semis,

— la réserve utile racinaire.

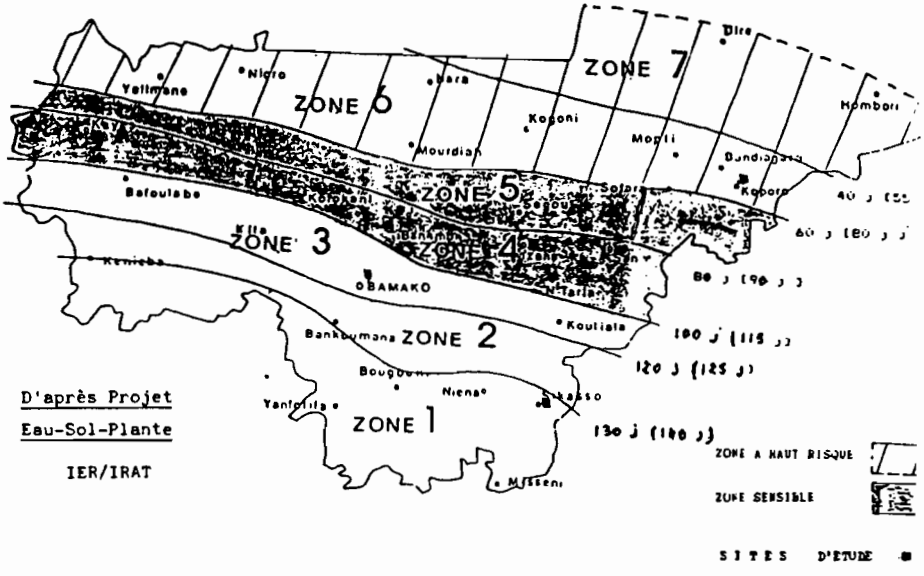
- Simulation des facteurs conditionnant l'alimentation hydrique

Une étude réalisée par une équipe IER/IRAT au Mali illustrera comment, par étapes successives, l'optimisation des facteurs agronomiques d'utilisation de la pluviométrie sont précisées, et quel est le risque encouru.

- facteur n° 1 : la durée de la culture

Dans le cas du Mali, 7 zones correspondant à un raccourcissement de la durée optimale de la culture ont été mises en évidence du Sud au Nord. Elle passe de 130 j à 40 j avec un risque augmentant simultanément.

- facteur n° 2 : la réserve utile racinaire



100 j : DURÉE DU CYCLE OPTIMAL DE CULTURE ATTEINTE OU DÉPASSEE. 8 ANNÉES SUR 10 SUR LA PÉRIODE 1970-1985

(140 j) : DURÉE DU CYCLE OPTIMAL DE CULTURE ATTEINTE OU DÉPASSÉE. 8 ANNÉES SUR 10 SUR LA PÉRIODE 1950-1985

(RU = 100 mm)

A l'intérieur de ces zones, l'espérance de production peut être fortement améliorée en jouant sur le cycle des variétés mais aussi sur la RUR (Tableau 4).

Dans le cas du Mil, on constate que les espérances de production varient selon les conditions de 2,0 t/ha à moins de 100 kg/ha. Il est important de noter que suivant les zones l'effet des facteurs considérés varie considérablement : par exemple, dans les zones les plus humides ou les plus sèches l'effet de la RUR est faible alors qu'il est important dans les zones intermédiaires. Ainsi, dans la zone VI, en doublant la RUR, les rendements espérés peuvent doubler, passant de 500 kg/ha à 1000 kg/ha pour un mil de 90 jours.

RENDEMENTS ESPÉRÉS (Qx/ha) DES MILS DE 90 et 120 jours

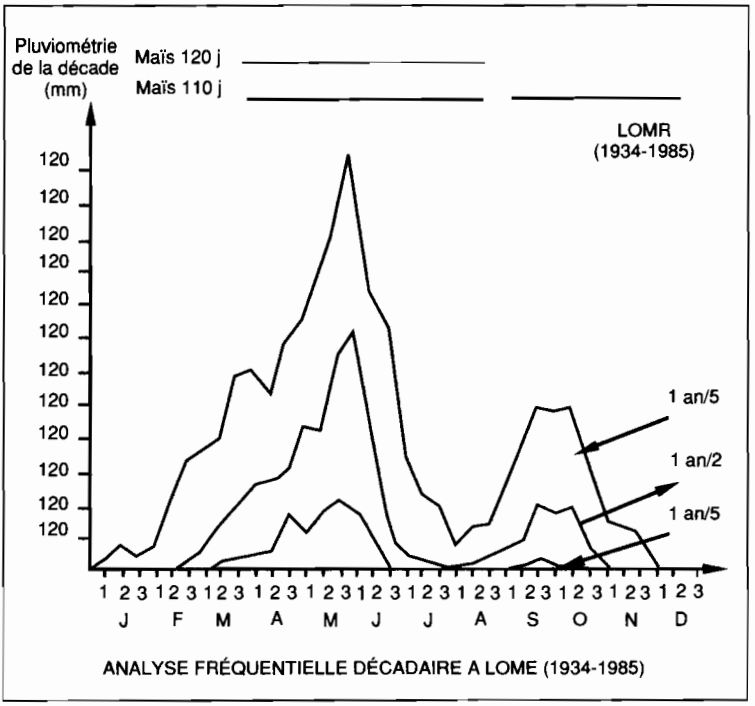
PERIODES FRE-QUENCE	CY-CLES JOURS	RU (mm)	I	II	III	IV	V	VI	VII
1980-85 8/10	90 j	120	17 à 15	17 à 14	15 à 12.5	14 à 11	12.5 à 9	11	< 9
	120 j	120	20.5	20.5 à 16.6	16.6 à 14	13.7 à 10	10 à 6	6 à 2.5	< 2.5
1980-85 8/10	90 j	60	16.5	16.5 à 14	14 à 13	13 à 9.5	11 à 9.5	9.5 à 5.5	< 5.5
		120	17	17 à 15.5	15.5 à 14	14 à 12	12 à 10	10 à 7.5	< 7.5
	120 j	60	17.7	17.7 à 15	15 à 11	11 à 7.5	7.5 à 3.5	3.5 à 0.5	< 0.5
		120	20	20 à 16	16 à 12.5	12.5 à 8.5	8.5 à 4	4 à 1	< 1

POUR LES ZONES AGROPÉDOCLIMATIQUES
POUR LES PÉRIODES NORMALE ET SECHE
POUR DEUX RÉSERVES EN EAU UTILE (60 et 120 mm)
(Fréquence atteinte ou dépassée 8 années/10)

- **Facteur n°3** : la date de semis

La date de semis est le troisième facteur d'optimisation de l'alimentation hydrique testé, dont l'influence dépend aussi des autres conditions.

Le calage du cycle par rapport à la répartition des pluies est représenté pour la station de Lomé au Togo. Il faut noter que la date de semis représentée (14 avril pour le maïs de 100 jours en première saison) est la date moyenne, l'application de la stratégie de semis optimale conduisant à un semis entre le 1er avril et le 1er mai, 4 années sur 5 en fonction de la date de la pluie de semis.



ANALYSE FRÉQUENTIELLE DÉCADAIRE A LOME (1934-1985)

Extrait de Poss et alii ORSTOM/IRAT 1987

Une autre approche consiste à déterminer les dates de semis extrêmes qu'il ne faut pas dépasser pour éviter soit les manques d'eau en fin de cycle, soit les stress en cours de floraison, quelle que soit la pluie de semis retenue. Le modèle a été utilisé pour simuler des dates de semis successives indépendamment des pluies et calculer les paramètres qui en résultent.

	Première saison		Deuxième saison	
Variété	semis le plus tôt	semis le plus tard	semis le plus tôt	semis le plus tard
Maïs 110 jours NH1F1	20 mars	15 mai	15 juillet	15 septembre
Maïs 120 jours La Posta	15 mars	5 mai	—	—

Dates de semis extrêmes (15 stations du Togo méridional, période 1965-1985). (extrait de Poss et al, 1987).

Les dates « extrêmes » suivantes sont ainsi caractérisées :

Cette approche strictement physique doit être complétée par la prise en compte des contraintes liées à la mise en place de la culture de deuxième saison : un maïs de 120 jours semé début mai compromet le semis de la deuxième saison. D'autre part, les semis tardifs sont souvent responsables d'importantes attaques de chenilles en cours de cycle. Il est donc préférable de semer le maïs de 120 jours avant le 20 avril et le maïs de 110 jours avant le 1er mai, ce qui est possible plus de 4 années sur 5. Lorsque ces dates ne peuvent être respectées, il faut semer sur la première pluie supérieure à 10 mm après le 20 avril ou le 1er mai selon la variété, les pluies du mois de mai permettant normalement d'assurer le démarrage de la culture.

En deuxième saison de culture, l'application de la stratégie optimale conduit à des dates de semis fréquemment postérieures à la date de semis extrême (15 septembre). Les années où ce cas se produit il est préférable de ne pas semer de maïs, et de le remplacer par une culture à cycle court (niébé...) car l'espérance de rendement pour un maïs semé après le 15 septembre est extrêmement faible (floraison en novembre à la fin des pluies).

4. LES SIMULATIONS, LES TECHNIQUES CULTURALES ET LE MATÉRIEL VÉGÉTAL POUR MANAGER LA PLUIE A LA PARCELLE

Les cartes de rendements espérés des principales cultures sont, de toute évidence, une donnée de base pour la panification régionale du développement de l'agriculture pluviale et en particulier l'organisation à moyen terme des échanges et de la complémentarité inter-régions. Cet aspect ne sera pas discuté car il est davantage du ressort du planificateur que de celui de l'agronome.

Les techniques culturales sont un bon moyen d'améliorer l'alimentation hydraulique des cultures, et leurs productivités.

— TRAVAIL DU SOL

L'effet du travail du sol est en général positif sur la productivité comme indiqué par NICOU et al (1985). Le tableau suivant, résumé de très nombreux essais sur les principales cultures, montre clairement :

	Rendement kg/ha			
	Nombre d'essais	Témoin	Labour	Gain du labour
MIL (grain)	38	1558	1894	+ 22
SORGHO (grain)	86	1691	2114	+ 25
MAÏS (grain)	31	1893	2791	+ 50
RIZ PLUVIAL (paddy)	20	1194	2367	+ 103
COTON (Coton grain)	28	1322	1550	+ 17
ARACHIDE (Coques)	46	1259	1556	+ 24

Les auteurs soulignent les effets positifs suivants, en plus de l'augmentation sur le rendement :

— effet résiduel, en particulier si la céréale est en tête d'assolement, permettant de ne labourer que tous les deux ou trois ans ;

— réduction de l'enherbement réduisant ou retardant le calendrier cultural.

En revanche, les mêmes auteurs notent que les effets ne sont pas aussi favorables partout, dûs au type de sol et à la perturbation de la couche de sol la plus fertile. Enfin, le labour doit être conduit avec précaution pour éviter les risques d'érosion.

La démonstration que les effets positifs du labour sont dûs à l'amélioration du facteur RUR de l'alimentation hydraulique est claire d'après les données fournies par les auteurs.

D'autres techniques de préparation du sol existent. Ainsi, les billons cloisonnés combinés au labour permettent de réduire le ruissellement et de favoriser l'infiltration, et ont montré un effet positif sur le rendement.

— FERTILISATION

Les conclusions de C. PIERI (1985) sur la fertilisation en Afrique semi-aride sont claires :

« la fertilisation est certainement une excellente technique pour accroître la productivité dans cette partie du monde mais si l'on veut obtenir une plus grande production et qu'elle soit durable, il est indispensable de combiner les effets des

engrais minéraux, le recyclage des résidus organiques et la fixation biologique de l'azote et, également, d'optimiser l'utilisation des ressources minérales telles que les phosphats naturels. »

Cependant, comme le souligne l'auteur, cet effet globalement positif, est variable selon la pluviométrie.

La fertilisation réduit le déficit d'alimentation hydrique car elle améliore la densité en surface et la profondeur de l'enracinement et donc la RUR.

La matière organique joue, de ce point de vue, un rôle important (CISSE et Al, 1988).

Les amendements calcaires peuvent également être une solution (J.L. CHOPART et Al, 1987).

— LE MATÉRIEL VÉGÉTAL

Dans tout programme de sélection, il convient d'évaluer les paramètres du milieu liés à l'alimentation hydrique en vue d'identifier les voies de sélection susceptibles d'améliorer la productivité des variétés nouvelles.

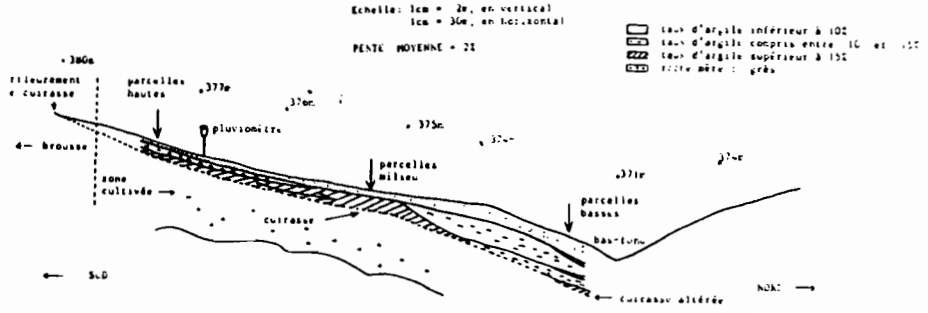
Si on respecte ces contraintes, les résultats encourageants obtenus en station sur l'amélioration végétale des principales espèces cultivées pourront être utilisés par les paysans.

Ainsi, dans le bilan des essais variétaux 1981-84 sur Mil, Sorgho, Maïs, Niébé conduit par l'INSAH (1985) dans les pays du CILSS, les auteurs ont identifié un nombre restreint de variétés de mil, sorgho, niébé et maïs adaptées aux différentes pluviométries annuelles.

Le tableau ci-joint indique les propositions faites pour le Tchad, à titre d'exemple. Il est clair que les potentialités des variétés sont largement supérieures aux résultats obtenus en milieu paysan.

— LA GESTION DES RESSOURCES PLUVIOMÉTRIQUES A L'ÉCHELLE DE LA TOPOSÉQUENCE

La pluviométrie est susceptible de se redistribuer d'une manière sensible à l'échelle de la toposéquence. Le ruissellement, les écoulements hydrodermiques



DONNÉES INSAH/CILSS

MIL PRÉCOCE

HKP, IBV 8004 ITV 8003, IBV 8001 H7-66 : Souna 3	2,0 2,3

SORGHO PRÉCOCE

VS 702, SPV 35 CP 151, CP 90	2,0 2,3

MIL INTERMÉDIAIRE

M2 D2 NKK	1,0 1,2
SRM P8	1,0

SORGHO LONG

S 10.1/2 MSB 137-62 L 30. SSI 781	2,5
SH1 D3, SH2 D2, SH 11 D1 Tiemarifing, SH 3 D1, S29	2,0

MIL LONG

P172, P173	1,0
P5, M4 D3	1,0

SORGHO TRÈS LONG

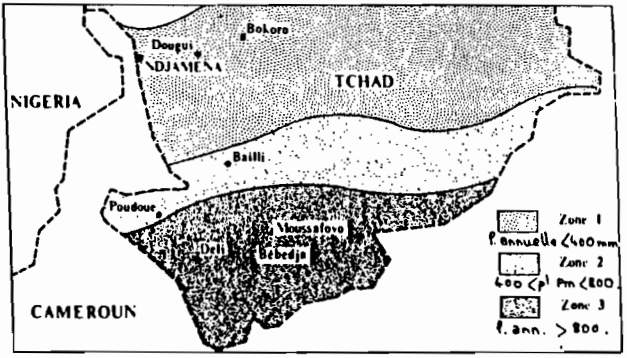
Gnofing. Frikan	2,0

NIÉBÉ

TN 88-63. Gorom 58-57	1,0
TN 88-63. 15-316 KN1. Gorom Mougne	1,5 2,0

MAÏS

Jeka. Maka	2,5
IRAT 98. IRAT 100 HVB 1	3,5



VARIÉTÉS PROPOSÉES SELON LES ZONES PLUVIOMÉTRIQUES
(exemple du Tchad)

ont ainsi été mis en évidence sur un terroir de référence (KASSELLA, MALI) suivi par la recherche dans l'objectif de mieux apprécier leurs effets sur la variabilité du rendement.

Le bilan hydrique (modèle IRAT) a ainsi été appliqué à quatre situations représentatives de la toposéquence, en tenant compte d'hypothèses de ruissellement et de profondeur racinaire observées in situ au cours de l'hivernage.

Le rendement est mesuré pour un ensemble de parcelles (33) disposées le long de la toposéquence. Certains champs recevant une fertilisation minérale, il a, par ailleurs, été possible d'apprécier l'effet de celle-ci sur la valorisation de la réserve hydrique et le rendement (rapport ESPACE 1987).

L'analyse de résultats montre la diversité des réponses de la culture en fonction de différents niveaux dans la toposéquence et des régimes d'alimentation hydrique qui en découlent.

PARCELLE	DATE SEMIS	PLUIE CYCLE (mm)	ETR CYCLE (mm)	RUISS (mm)	DRAINAGE (mm)	RENDEMENT MOYEN (kg/ha)
HAUT	17.07	329	152	14	113	100
MILIEU	17.07	329	301	7	18	896 1 317 avec engrais
RUPTURE LENTE	17.07	329	277	26	0	610
BAS	23.07	279	306	- 53	22	1 010 2 011 avec engrais

Extrait du projet IER/IRAT Sol-eau-plante. République dy Mali

RÉGIME ETR. RENDEMENT DU MIL EN FONCTION DE LA PLACE DE LA PARCELLE SUR LA TOPOSÉQUENCE (KASSELLA, 1987-Mali)

La liaison entre le rendement, le régime ETR cycle et la situation de la parcelle apparaît d'une manière significative. Pour une même pluviométrie, le rendement varie selon le facteur 10 lorsque l'ETR est multipliée par 2. Cette diversité des régimes hydriques est d'ailleurs judicieusement exploitée par les paysans qui apportent une fertilisation minérale sur les parcelles affectées d'une ressource hydrique plus favorable (milieu et bas). On notera aussi l'effet de la fertilisation qui autorise un doublement de l'efficience de l'eau sur les parcelles en bas de toposéquence.

Ces observations démontrent le rôle prépondérant des conditions et situations pédoclimatiques sur l'élaboration du rendement. Elles mettent par ailleurs en évidence la possibilité de mieux gérer la ressource pluviométrique en prenant en considération les facteurs morphopédologiques. Le management de l'eau pluviale, à travers une adaptation des systèmes de culture aux diversités de paysage, peut ainsi contribuer à accroître très sensiblement la productivité

agricole. En hiérarchisant la contrainte « risque climatique » à ces niveaux d'échelle par simulation des bilans hydriques, il serait possible de mieux fonder les politiques d'intervention visant à intensifier la production là où les chances de succès sont les plus élevées.

CONCLUSION

En forme de conclusion : des propositions pour une nouvelle approche de détermination des conditions du développement de l'agriculture en région semi-aride en Afrique.

1/ L'évaluation de l'alimentation hydrique des cultures (ETM, ETR, Drainage) sert de base de détermination entre l'option agriculture pluviale ou irriguée.

2/ L'alimentation hydrique est estimée en simulant la durée du cycle, la date de semis et la RUR, grâce à un modèle de bilan hydrique.

3/ A l'échelle des zones climatiques, l'estimation de l'alimentation hydrique prévoit les productions selon les niveaux d'intensification.

Des rendements probables en pluvial, on pourra déduire l'intérêt économique de l'irrigation.

4/ A l'échelle du bassin versant et du terroir, une hiérarchie des facteurs de l'alimentation hydrique est établie entre :

— l'utilisation et le contrôle du ruissellement,
— le niveau d'intensification permettant d'améliorer la RUR et l'efficience de l'eau,
— les variétés,
— l'inclusion de l'irrigation.

La mise en œuvre de ces propositions permettra de déterminer en fonction des spécificités du milieu les meilleures conditions en vue :

— d'augmenter la productivité,
— de réduire les risques,
— de prévenir la dégradation du milieu,

sachant que l'option agriculture pluviale et/ou irriguée est, en dernier ressort, faite par le paysan.

V

ÉLÉMENTS NÉCESSAIRES A L'ÉTABLISSEMENT D'UNE PETITE STATION CLIMATOLOGIQUE AGRICOLE

La mise en place d'une telle station visera toujours à mesurer les conditions moyennes de la région considérée, région devant optimalement être de l'ordre de 100 km2.

Il convient de noter que les résultats recueillis ne pourraient avoir valeur d'exemple qu'après une série continue d'au moins dix années d'observations.

Pour cela, on cherchera à se placer dans des conditions géographiques médianes par rapport au périmètre considéré mais en accordant une importance primordiale à la présence de l'observateur à **proximité immédiate** de la station.

Une telle station devra être contrôlée au moins deux fois l'an pour réajuster les résultats et veiller à la bonne conservation du matériel.

La station sera située sur un terrain gazonné et plat, éloigné de tout obstacle naturel et enclose, elle devra être accessible facilement et proche d'un point d'eau.

Le matériel minimum de base à prévoir est composé de :

1) un abri météorologique agricole
2) un ensemble thermomètres à minimum et à maximum
3) un évaporomètre Piche
4) un pluviomètre
5) un bac Colorado ou type A (si les ressources en eau sont disponibles)
6) un psychromètre (si possible)

Selon les préoccupations propres à la région, une telle installation pourra être complétée par un héliographe et des thermomètres pour mesurer la température du sol.

1. AUTOMATISER LES STATIONS CLIMATOLOGIQUES : DE NOMBREUX AVANTAGES

- réelle simplicité d'emploi et gain de temps important
- grande fiabilité
- augmentation du nombre des données recueillies

1.1. Un matériel éprouvé

L'enregistrement des données climatiques dans une station traditionnelle est fait par un observateur. C'est une grande contrainte - il faut être présent tous les jours de l'année - et une importante source d'erreurs.

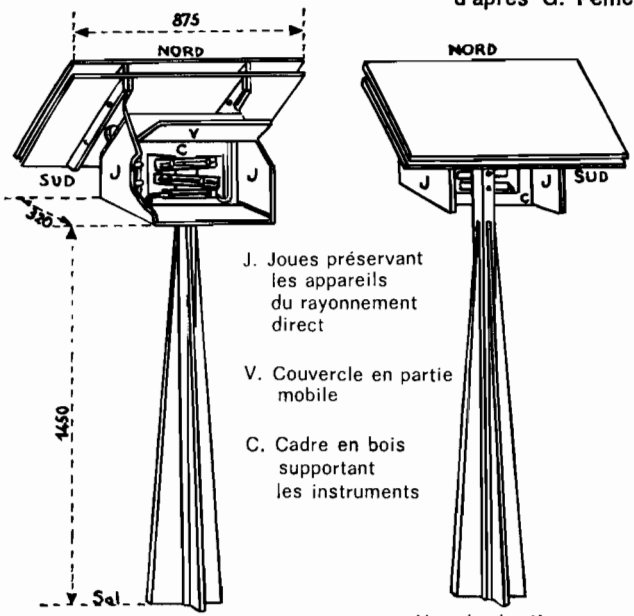
Une solution : installer des stations climatologiques automatiques telles qu'il en existe en France depuis 1982. Conçues grâce à une collaboration INRA-CIMEL Electronique, elles y ont fait leurs preuves.

Mais ce matériel convenait-il pour les régions tropicales ? L'IRAT l'a d'abord testé dans les conditions climatiques particulièrement variées et difficiles de l'île de la Réunion. Une pluviométrie allant de 500 mm à 11.000 mm par an et une altitude variant de 0 à plus de 3 000 mètres : un véritable « écotron » de climats tropicaux. Il est maintenant introduit en milieu sahélien.

1.2. Adapté aux conditions extrêmes

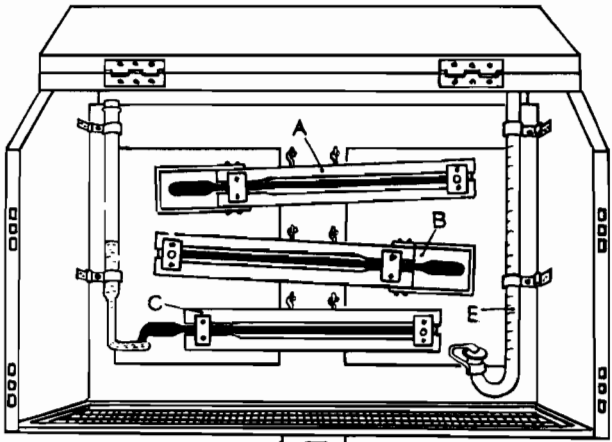
Certaines adaptations ont été apportées pour protéger le matériel contre l'humidité, les insectes, les vents violents (sable, cyclones), les pluies torrentielles... Les conditions d'installation d'une station climatologique ont été précisées : certaines erreurs doivent être évitées. Des logiciels ont été mis au point pour une exploitation des données correspondant au projet de l'utilisateur.

Abri météorologique simplifié dit « Type agricole »
d'après G. Péméniéras.



Vue de devant — Vue de derrière

Vue d'ensemble



A. Thermomètre à maximum
B. Thermomètre à minimum
C. Thermomètre mouillé
E. Evaporomètre Piche

Détail d'installation des instruments

1.3. Pas plus cher

Une station automatique (centrale, mémoire Eprom, capteurs) du type présenté ici ne coûte pas plus cher qu'une station traditionnelle d'importance comparable.

Il faut toutefois ajouter, pour l'exploitation des données, le coût d'un micro-ordinateur. Ce dernier peut être utilisé pour gérer les données d'un ensemble de stations constituées en réseau. L'investissement devient alors tout à fait minime.

2. DES MESURES PLUS FINES POUR UNE AGRICULTURE PLUS PERFORMANTE

Les applications classiques de la climatologie à l'agriculture sont améliorées ; plus précises et plus nombreuses, les mesures sont exploitées pour :

- le choix des productions dans une opération de développement (diversification des cultures, etc.) ;
- le « calage » du cycle des cultures (méthodes des sommes de températures et du bilan hydrique) ;
- la conduite rationnelle de l'irrigation ;
- la surveillance et l'avertissement phytosanitaires ;
- la prévision des rendements, en particulier des cultures vivrières (modélisation) ;
- les productions hors-sol ou sous serre ;
- l'élevage (production de fourrages, hygiène).

VI

LES APPORTS POSSIBLES DE LA TÉLÉDÉTECTION A LA CONNAISSANCE DES RÉGIMES CLIMATIQUES UNE APPROCHE RÉGIONALE DE LA PLUVIOMÉTRIE ET DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION

TÉLÉDÉTECTION APPLIQUÉE A L'AGROCLIMATOLOGIE

Les données des satellites météorologiques METEOSAT et NOAA-AVHRR sont à l'heure actuelle largement utilisées, tant en ce qui concerne l'obtention de données agroclimatiques (essentiellement par le biais des canaux dans l'IR thermique) que le suivi global de la végétation (en s'appuyant sur l'index de végétation). Toutefois leur utilisation n'est pas totalement opérationnelle et de nombreuses recherches sont en cours pour développer des méthodologies fiables.

Les résultats les plus intéressants ont été obtenus récemment sur l'estimation des termes du bilan hydrique régional, pluviométrie et évapotranspiration réelle, à l'aide des canaux IR thermiques. En effet, JACKSON et Al (1977) puis SEGUIN et Al (1979, 1982, 1983) ont mis en évidence une relation simplifiée du bilan d'énergie :

$$ETj - RNj = A + B\,(Ts - Ta)i$$

où : • Ts - Ta est la différence entre température de surface (pouvant être mesurée par satellite) et température de l'air à 2 m, prises en milieu de journée.

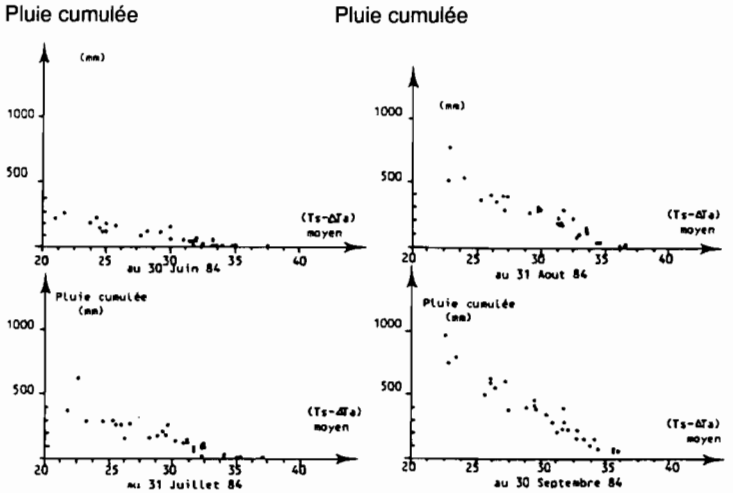
- Etj est l'évapotranspiration journalière,
- RNj le rayonnement net journalier.

La température de surface, mesurée dans l'IR thermique, traduit donc l'état hydrique de la surface, et ceci a pu être vérifié avec les données METEOSAT sur le Sénégal.

* **Pluviométrie** : sur 3 années d'observation, des ajustements linéaires ont été réalisés entre la pluviométrie cumulée à partir du 1er juin et les températures (Ts - Ta). Les relations obtenues permettant d'expliquer plus de 73 % des variations de pluviométrie à partir de juillet et jusqu'à 95 % en septembre 1984.

Cette approche est opérationnelle et permet d'éditer régulièrement des cartes de pluviométrie dérivées de l'imagerie METEOSAT. Comparée à des méthodes numériques d'interpolation des données du réseau sol, l'utilisation de l'imagerie METEOSAT est particulièrement intéressante dans les zones à faible densité de mesures. Ceci est résumé dans le tableau des écarts types d'estimations;

* **Evapotranspiration réelle** : l'intérêt d'une relation simplifiée du bilan d'énergie a été mis en évidence en 1984 avec les données IR thermiques de METEOSAT (cf figure 3). L'ajustement obtenu a permis de réaliser des cartes d'évapotranspiration (figure 4). la précision de l'estimation ainsi réalisée devrait être améliorée à l'avenir avec les données NOAA AVHRR à 1 km de résolution.



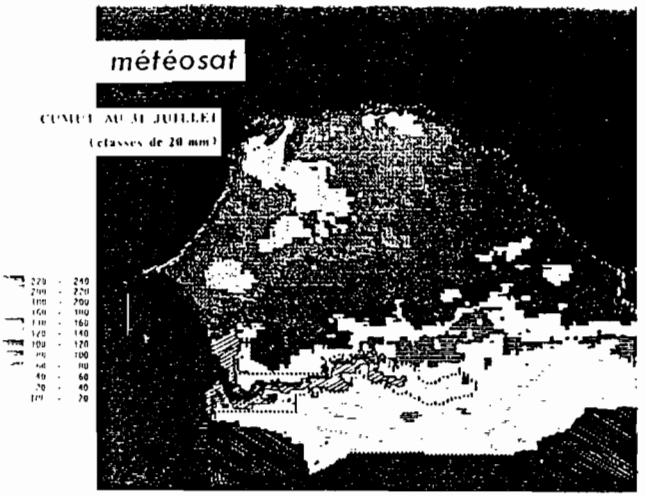


Fig. 2 - Pluviométrie 1987 au Sénégal

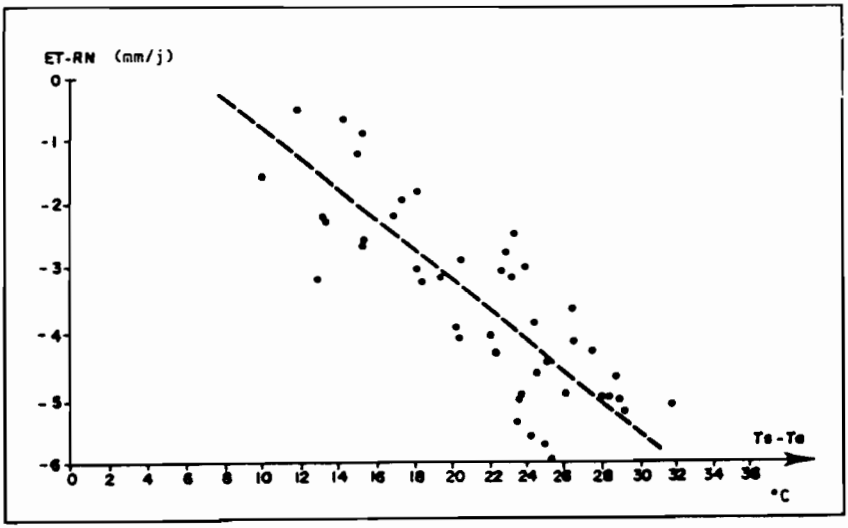


Fig. 3

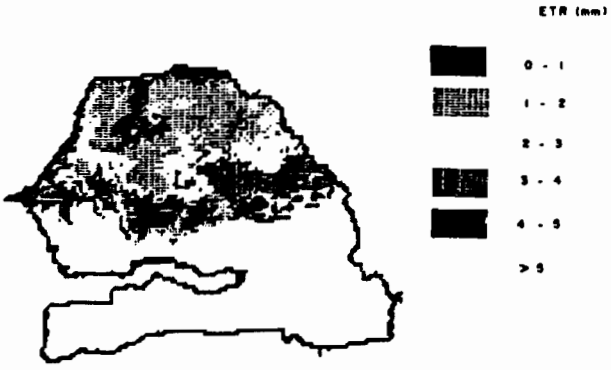


Fig. 4 - Carte d'ETR élaborée à partir de la relation simplifiée, 13 août 1984

CHAPITRE III

TOPOGRAPHIE

1. GENERALITES SUR LES CARTES

En Afrique, au sud du Sahara, des conventions internationales ont permis de normaliser les échelles, les projections et le découpage des différentes cartes établies par les Etats. Naturellement, les cartes à très grande échelle, compte tenu de leur intérêt très local, échappent à cette règle (1).

En Afrique francophone, ce sont ou bien des organismes d'état ou bien l'Institut Géographique National qui établissent la plupart de ces cartes.

Types de cartes.

En cartographie nous distinguons : les cartes de base, les cartes dérivées, les cartes générales et les cartes thématiques.

Cartes de base.

Documents originaux issus de levés topographiques ou photogrammétriques (échelle de 1/50 000 au 1/200 000 selon le développement économique des régions concernées, en Afrique francophone).

De plusieurs de ces cartes de base découlera, après généralisation et synthèse, une carte à échelle plus petite dite « **carte dérivée** ».

La carte générale sera issue à son tour d'une synthèse de plusieurs cartes dérivées, sans donner la préférence à un thème plutôt qu'à un autre.

Si, au contraire, par une technique identique, on donne la préférence à un sujet quelconque : l'hydrographie, la végétation, les routes, les limites administratives, etc., on obtient alors une « **carte thématique** », à petite ou grande échelle.

Si le découpage et les échelles ont pu être normalisés, il n'en est pas de même pour les légendes et les représentations graphiques, exception faite, tout au moins en théorie, pour la carte internationale au 1/1 000 000 ou pour les cartes aéronautiques.

La transcription phonétique des dialectes africains n'a jamais été normalisée. Les règles de transcription phonétique I.G.N., pour imparfaites qu'elles soient,

(1) Il y a également exception pour Madagascar dont les couvertures cartographiques étaient déjà fort avancées au moment des accords.

ont le mérite d'exister et d'être comprises par tous ; il est donc souhaitable de s'y tenir.

D'ailleurs à lui seul, le terme de « carte » sous-entend une certaine rigueur et une certaine précision, appuyées sur des techniques très particulières. Il ne faudra donc pas hésiter dans de nombreux cas à utiliser les termes « d'esquisse », de « croquis », de « schéma », de « fond planimétrique » ou si l'on répugne à l'emploi de ces appellations restrictives... il faudra s'adresser à un cartographe avant le début de l'étude.

La cartographie est soumise aux droits de propriété dans le cadre d'une législation bien définie, impliquant au minimum l'autorisation du propriétaire et bien souvent un paiement de droits.

Les cartes topographiques étant l'affaire du spécialiste, les experts des différentes disciplines ne peuvent avoir que des cartes thématiques à établir dans le cadre de leur étude. Il leur sera donc nécessaire d'étudier l'échelle en rapport avec la masse des renseignements à faire figurer, mais également avec la précision et la valeur de ces renseignements. En effet, une carte au 1/20 000 implique une précision très sévère de chaque renseignement ; en revanche, au 1/100 000, la précision du renseignement peut être plus vague.

Echelles :

Le découpage des cartes est basé sur la carte internationale du monde au 1/100 000 (voir figure p. suiv.). Dans la normalisation nous trouvons les cartes au 1/50 000, 1/100 000, 1/200 000, 1/500 000 et pour finir au 1/1 000 000 (1). Chaque carte sera numérotée selon une convention, comme le montre la figure page suivante.

Les échelles sont classées en trois catégories et permettent l'établissement des plans et cartes suivants :

- **Grande échelle** jusqu'au 1/25 000, équidistance des courbes de 0,20 à 5 m :

— plans parcellaires tels que les plans cadastraux ou de remembrement (échelles comprises entre 1/500 et 1/2 500) ;
— plans topographiques d'études ayant pour objet de recueillir les mesures nécessaires à l'élaboration d'un projet de route ou d'hydraulique agricole (échelles comprises entre le 1/500 et le 1/20 000) ;
— cartes pédologiques ;
— cartes de reconnaissance agronomique.

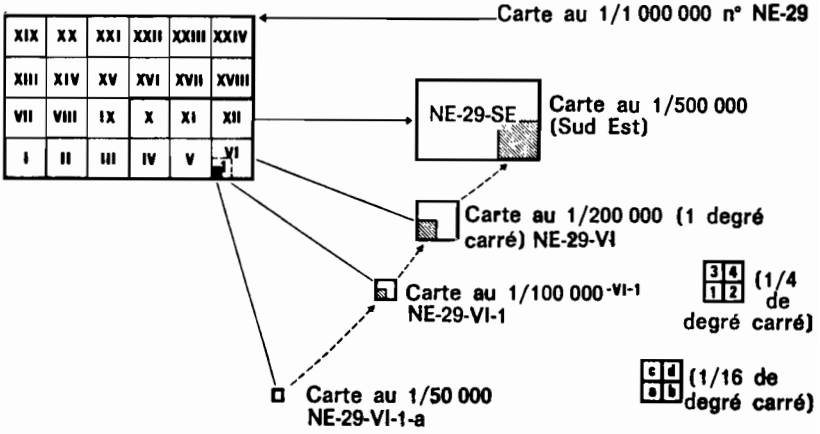
- **Moyenne échelle** du 1/25 000 au 1/100 000, équidistance des courbes de 5 à 20 m :

— courbes géologiques ;
— cartes d'état-major.

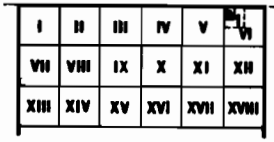
(1) Exceptionnellement on peut trouver des cartes au 1/20 000 et même au 1/10 000.

- **Petite échelle** au-dessus de 1/100 000, équidistance des courbes plus de 10 m :

— cartes routières.



Au Sud de l'Equateur TOUS les chiffres sont inversés vers le Sud



Découpage et numérotation des cartes.

2. ETABLISSEMENT DES CARTES ET DES PLANS : LES LEVÉS

2.1. La planimétrie (situation des points en représentation plane).

Le processus de toute réalisation consiste à déterminer d'abord le canevas d'ensemble puis, par des opérations successives, à descendre de l'ensemble au détail.

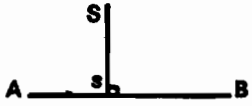
L'application de ce principe conduit à déterminer les éléments du canevas constitué d'un ensemble de points auquel on rattache les points de détail.

Le levé du canevas général, résultant de mesures géodésiques et d'opérations de triangulation doit être fait par des spécialistes. Les détails sont rattachés au canevas par les méthodes topométriques ci-après.

2.1.1. COORDONNEES RECTANGULAIRES : (position d'un point sur une surface plane par rapport à un système de référence défini par deux axes concourants).

Ce système permet de définir la position de tous les points d'un plan qui seront déterminés un à un par leurs coordonnées (abscisse et ordonnée).

En se déplaçant sur une direction connue AB, on détermine la projection des points à lever à l'aide d'une équerre optique. Les mesures de As (Abscisse) et Ss (Ordonnée), relevées sur le terrain à l'aide d'instruments de mesure (ruban d'acier ou topofil), définissent le point S.

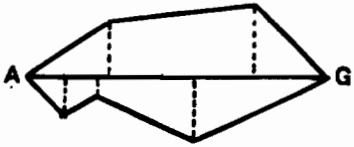


Cette méthode s'applique à l'arpentage.

L'arpentage est une forme réduite de levé de plan ayant pour objet d'évaluer la superficie de la projection horizontale d'un terrain ; deux méthodes sont possibles :

— Décomposition en trapèzes et triangles :

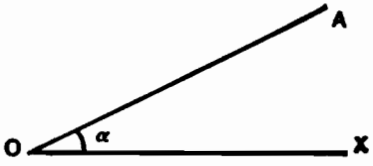
On choisit pour base la plus grande diagonale AG du polygone délimitant le terrain et on détermine avec l'équerre les projections des sommets sur cette base :



— Décomposition en triangles :

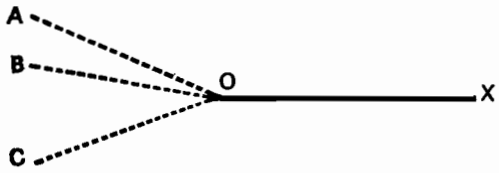
On décompose le polygone limitant le terrain à lever en triangles dont on mesure tous les côtés.

2.1.2. COORDONNEES POLAIRES : Ce système est défini par la détermination d'une longueur L et d'un angle α. La position d'un point A, situé sur un plan est déterminée par sa longueur L = OA, et par l'angle α (mesurée au goniomètre) formé par cette droite avec l'axe Ox, puis comme référence.



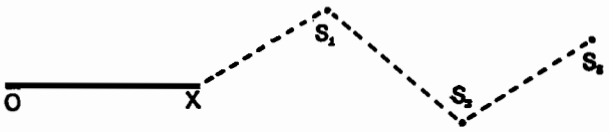
— Levé par **rayonnement** :

Si les points sont tous rattachés à une même extrémité O de Ox le procédé s'appelle rayonnement.



— Levé par **cheminement** :

Un cheminement est constitué par une succession de rayonnements enchainés. Ce procédé permet de connaître de proche en proche la position des sommets (par leurs coordonnées ou leur situation sur une minute) par détermination sur le terrain de la direction et de la longueur des côtés.



S'il est effectué entre deux points connus, il est dit **tendu** (méthode la plus sûre). S'il revient à son point de départ, il est dit **fermé** : souvent employée, cette dernière méthode présente des inconvénients ; elle ne permet pas de déceler une erreur systématique sur les mesures de longueur, ni une faute sur l'orientation de ce départ.

Un ensemble de cheminements constitue une **polygonation.**

On distingue deux sortes de cheminements :

— Les cheminements « goniométriques » dans lesquels on mesure les angles formés par deux côtés consécutifs avec un goniomètre (théodolite) donnant des mesures angulaires directes.

— Les cheminements « déclinés » dans lesquels on mesure les azimuts (angle que fait la direction levée avec la direction du méridien magnétique du lieu) de chacun des côtés au moyen d'un goniomètre décliné (1).

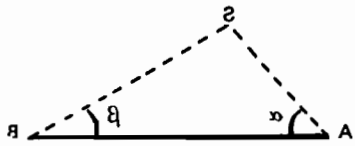
Les opérations de cheminement des levés à très grande échelle seront exclusivement faites dans le mode « goniométrique ».

(1) Le mode décliné consiste à orienter chaque côté par rapport au nord magnétique indiqué par l'aiguille aimantée.

2.1.3. COORDONNEES BIPOLAIRES ANGULAIRES

— Levé par **intersection** :

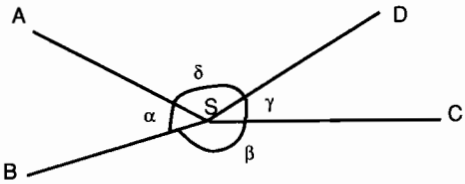
Les points A et B sont connus, on détermine le point S par la mesure des deux angles α à partir de A et ß à partir de B.



La détermination, pour être vérifiée et précise, doit comporter une visée supplémentaire issue d'un troisième point connu, C.

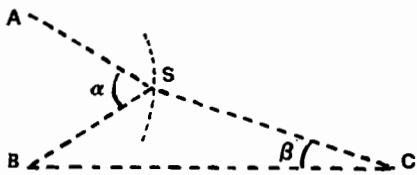
— Levé par **relèvement** :

Les points A, B, C et D sont connus ; pour déterminer le point S, on mesure à partir de celui-ci les angles α, β, γ et σ pour obtenir trois axes capables indépendants qui se recoupent au point S.



— Levé par **recoupement** :

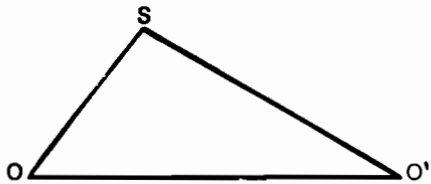
Les points A, B et C sont connus : on mesure l'angle à partir de S ce qui donne un lieu géométrique (segment capable) et l'angle ß à partir de C ce qui donne la direction CS. L'intersection de ces deux lieux est le point S :



2.1.4. COORDONNEES BIPOLAIRES LINEAIRES (triangles indéformables)

Connaissant l'axe OO' et les distances SO SO' le point S est parfaitement défini (deuxième méthode de l'arpentage : décomposition en triangles). Atten-

tion cependant au fait qu'il est possible de construire un triangle symétrique par rapport à l'axe OO'.



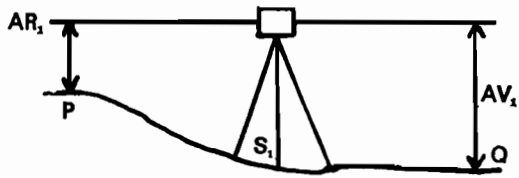
2.2. Altimétrie.

2.2.1. NIVELLEMENT DIRECT

La mesure directe des hauteurs consiste à déterminer la différence de niveau entre deux points P et Q. Ce nivellement s'exécute par visées horizontales à l'aide d'un niveau placé à la station 1 à égale distance de P et Q (à quelques mètres près).

On vise la mire verticale placée sur le point P et on lit la hauteur AR1, (lecture arrière de la station 1), puis on vise la mire verticale placée sur le point Q et on y lit la hauteur AV1 (lecture avant de la station 1). La lecture arrière moins la lecture avant donne la différence de niveau de P à Q.

$$dN_1 = AR_1 - AV_1$$



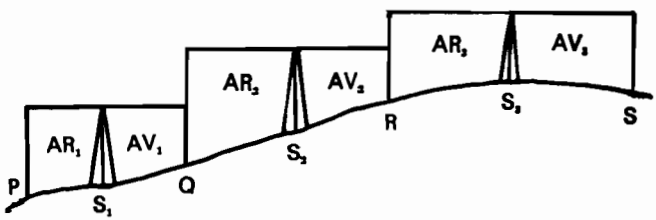
P. S_1 et Q ne sont pas obligatoirement alignés.

On peut aussi définir la différence de niveau entre 2 points P et S non directement visibles depuis la même station ; dans ce cas on procède par cheminement de nivellement.

On aura successivement :

$dN_1 = AR_2 - AV_1$ $\qquad dN_3 = AR_3 - AV_3$

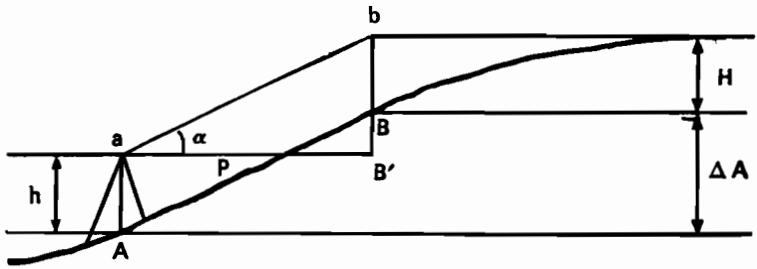
$dN_2 = AR_2 - AV_2$ $\qquad \Sigma dN = \Sigma AR - \Sigma AV$



Si AR > AV, dN est positif, c'est-à-dire que l'altitude du point avant est supérieure à celle du point arrière, et vice versa si AR < AV.

2.2.2. NIVELLEMENT INDIRECT

Ce nivellement s'exécute avec un appareil goniométrique (tachéomètre ou théodolite) muni d'un éclimètre, c'est-à-dire d'un instrument permettant la mesure des inclinaisons d'une visée sur l'horizontale :



La connaissance de l'angle d'inclinaison, mesuré dans un plan vertical de visée, et de la distance de l'objet visé permet de calculer la différence d'altitude entre l'instrument et le point visé.

Soit « a » l'appareil de mesure placé au-dessus du point A et B le point où l'on place une mire verticale Bb. De la lunette **a,** on vise le point **b** de la mire d'une hauteur H = bB. L'appareil est à une hauteur h au-dessus de A ; P est la longueur horizontale aB' de A à B et α l'angle de pente lu sur l'appareil. Nous cherchons Δ A différence de niveau entre A et B :

$$\overline{bB'} = P \text{ tg } \alpha$$

$$\overline{B'B} = P \text{ tg } \alpha - H$$

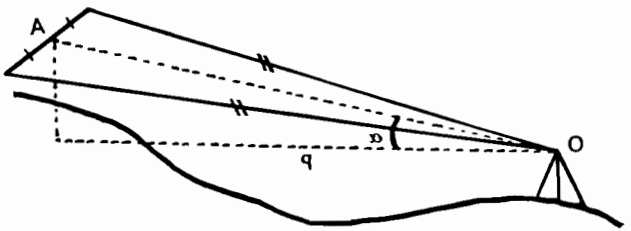
$$\Delta A = P \text{ tg } \alpha - H + h$$

α étant pris avec le signe + dans le sens ab ascendant et avec le signe — dans le sens descendant.

Il ne faut pas dépasser des visées de 200 à 300 m de long.

Détermination de la longueur P

Soit O le centre du tachéomètre, la lunette étant inclinée de l'angle sur l'horizon. OA est donnée par la lecture directe sur la mire stadimétrique. La distance horizontale P est donnée par la formule : $P = OA \cos \alpha$.



2.2.3. TRACE DES COURBES DE NIVEAU (1).

Seul le procédé des courbes de niveau est actuellement utilisé pour représenter les formes du terrain. La détermination des courbes, en fonction de l'échelle du levé et de la nature du terrain, peut se faire par l'une des trois méthodes suivantes :

— **Méthodes des profils :**

Utilisée en terrain accidenté et à petite échelle (1/50 000 à 1/200 000) :

- Détermination planimétrique et altimétrique des lignes caractéristiques du terrain (thalwegs, lignes de faîte, lignes de changement de pente).
- Détermination des points de passage des courbes de niveau (par interpolation le long du profil du terrain supposé rectiligne) entre deux points cotés des lignes caractéristiques (on admet qu'entre deux points cotés, la pente est constante).
- Tracé des courbes au jugé en s'inspirant du modelé du terrain.

— **Filage des courbes de niveau :**

Utilisée en terrain moyen et à échelle moyenne (1/10 000 à 1/25 000) la méthode consiste à rechercher directement les courbes sur le terrain, à les filer et à les déterminer planimétriquement.

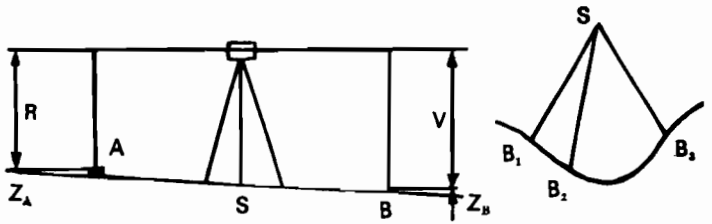
On emploie un niveau dont le viseur est disposé horizontalement. On effectue une visée R sur une mire placée sur un repère A d'altitude connue ZA. L'altitude du plan horizontal de visée est donc ZA + R.

Pour relever une courbe de niveau horizontal ZB il suffit de rechercher par tâtonnements des points tels qu'on lise sur la mire des cotes :

$$V = Z_A + R - Z_B$$

(1) Pour l'implantation rapide sur le terrain de courbes de niveau, voir ch. IX.

La détermination planimétrique des points de la courbe ainsi obtenue s'effectue par rayonnement autour du point de station S. On relève les directions des secteurs SB_1, SB_2, SB_3 ainsi que leurs longueurs.



— **Méthodes des points cotés :**

Utilisée en terrain peu accidenté et aux grandes échelles (1/500 à 1/10 000).

Les mouvements du terrain étant peu accentués et la pente faible, on parsème le sol d'un grand nombre de points cotés et on admet qu'entre deux de ces points la pente est constante (on accumule de préférence les points sur les lignes caractéristiques du terrain où les courbes de niveau s'infléchissent). On interpole ensuite les courbes entre ces nombreux points.

2.3. Les appareils.

2.3.1. LES APPAREILS DE MESURE DES LONGUEURS

Mesures directes.

En plus du ruban d'acier et du fil invar utilisés pour les mesures des distances requérant une grande précision, le topofil permet d'exécuter les mesures à effectuer au cours de tracés rapides ou de reconnaissances avec une précision de ± 0,2 %.

Cet instrument se compose d'un compteur précis et d'un dévidoir portant une bobine de fil sans torsion. Le fil est abandonné sur le terrain après utilisation.

Citons également comme mesure directe de moindre précision, la mesure au double pas étalonné (1/50) qui ne demande aucun matériel particulier.

Des appareils électroniques récents (distancemètre) permettent la mesure de longues distances avec une précision de l'ordre de 0,5 à 1 cm au km. Un rayon (lumineux, infrarouge, radio ou laser) à intensité modulée est émis par un poste-maître (émetteur-récepteur) en direction d'un réflecteur pour les ondes lumineuses ou d'un répondeur pour les ondes radio ; le rayon réfléchi est converti en un signal électronique et comparé à un signal interne de référence. Les distances sont lues directement sur l'appareil.

Mesures indirectes.

Les appareils les plus employés sont les tachéomètres autoréducteurs.
Ces appareils permettent de déterminer la distance qui sépare le centre de l'appareil du point visé par simple lecture sur la mire stadia, et effectuent la réduction à l'horizontale.

2.3.2. LES APPAREILS DE MESURE DES ANGLES HORIZONTAUX

Les mesures planimétriques comprennent la détermination des distances et celle des angles projetés sur un plan horizontal.

Ces angles sont donc des angles horizontaux à mesurer sur le terrain en utilisant l'une des trois catégories d'instruments suivants :

— les équerres ;
— les goniographes ;
— les goniomètres.

— **Les équerres :**

Les équerres à prisme ou à réflexion, composées par l'association de plusieurs miroirs donnant des directions, servent uniquement à mener une perpendiculaire par rapport à une droite donnée.

— **Les goniographes :**

Ils permettent de réaliser directement sur place le dessin d'un terrain déterminé par un relevé graphique.

Les goniographes sont composés d'une planchette topographique (planche à dessin avec trépied) et d'une alidade à pinnule ou à lunette.

— **Les goniomètres :**

Les goniomètres servent à mesurer les angles.
Les goniomètres se divisent en deux groupes :

— Les goniomètres peu précis :
  — pantomètre,
  — boussole.

— Les goniomètres précis :
  — théodolite ordinaire,
  — théodolite moderne.

2.3.3. LES APPAREILS DE MESURE ALTIMETRIQUE

Les appareils ayant pour but d'évaluer les hauteurs, côtes ou altitudes des points d'un terrain par rapport à un plan horizontal sont les suivants :

— Niveaux simples :
  • niveau d'eau,

- niveau à collimateur,
- niveau lyre ou clisimètre.

— Niveaux à lunette.

Ces niveaux comprennent : un système de vis calantes supportant le pivot de l'appareil, un plateau circulaire, une lunette astronomique, une nivelle et un système de mouvements réduits pour les fins calages. Les modèles de niveaux les plus utilisés sont les suivants :

— niveaux à nivelle indépendante,

— niveaux à nivelle fixe.

Ces niveaux sont monoblocs et formés d'une lunette et d'une nivelle enfermées dans un bloc métallique donnant une grande stabilité à l'ensemble. Ils sont mis à l'horizontal, soit automatiquement, soit par calage mécanique manuel de la nivelle.

2.3.4. LES APPAREILS DE MESURE COMBINÉS

Citons pour mémoire les récents appareils de mesure combinant théodolite et distancemètre électronique et permettant l'enregistrement instantané sur bande magnétique des différentes observations faites sur une station : angles horizontaux et verticaux, distance suivant la pente et horizontale, etc.

2.3.5. UTILISATION ET SPÉCIFICATION DES APPAREILS

Le choix des appareils revêt une grande importance et doit être fait en fonction :
— du type de levé à exécuter,
— de l'échelle à utiliser,
— de la précision demandée,
— de la qualification des techniciens dont on dispose.

Les spécifications des principaux appareils, ainsi que leur mode d'emploi sont donnés par les constructeurs.

Le tableau suivant est destiné à permettre aux différents utilisateurs de choisir le type d'appareils répondant à leurs besoins et d'en demander les caractéristiques aux fournisseurs.

TABLEAU DES PRINCIPAUX LEVÉS TOPOGRAPHIQUES EN AGRICULTURE

TYPES DE LEVÉS	TYPE DE TRAVAUX	ÉCHELLES	MATERIEL préconisé	PRÉCISION des appareils	PRINCIPAUX Constructeurs
PLANIMETRIE					
Canevas					
- Levé régulier — Cheminement fermé Cheminement ouvert	Aménagements hydroagricoles Implantation	1/20 000 à 1/2 000	Théodolite Cercle d'alignement	3 à 20 secondes sexagésimales	WILD DERN ZEISS
Cheminement décliné	Projets		Idem + déclinatoire		
- Levé expédié — Cheminement fermé	Reconnaissance	1/2 000	Pantomètre	5 minutes sexagésimales	CHAIX WILD
Cheminement ouvert Cheminement décliné	Prospection Enquête		Boussole Topofil	10 minutes sexagésimales	
Levé de détails					
- Levé — Régulier	Aménagements hydroagricoles	1/1 000 à 1/5 000	Tachéomètre	1 à 20 minutes sexagésimales	MORIN-WILD SANGUET
Expédié	— Idem —		Ruban, équerre	1/20 000 à 1/3 000	SLM-WILD

TYPES DE LEVÉS		TYPE DE TRAVAUX	ÉCHELLES	MATERIEL préconisé	PRÉCISION des appareils	PRINCIPAUX Constructeurs
Par coordonnées bipolaires	Régulier	Aménagements hydroagricoles		Tachéomètre	10 à 20 minutes sexagésimales	MORIN-WILD SANGUET
	Expédié	Enquête Prospection	1/2 000 à 1/10 000	Boussole - Pantomètre	5 à 10 minutes sexagésimales	SLM-WILD
Par méthodes goniographiques	Régulier	Plan cadastral Remembrement	1/1 000 à 1/2 500	Planchette + alidade à clisimètre ou auto réductrice	3 centigrades pour les pointés et 10 à 15 centigrades pour l'orientation	MORIN WILD
	Expédié	Enquêtes agricoles Prospection	1/2 000 à 1/10 000	Planchette + Boussole Ruban d'acier Topofil		CHAIX
Par coordonnées rectangulaires		Arpentage pour enquêtes agricoles	1/1 000	Ruban d'acier Jalon-fiches	1/20 000 à 1/3000 et 3 mm à 10 m pour l'équerre	ZEISS
	Expédié	Plan d'assolement	à	Equerre Topofil		SLM
		Plan de culture Plan parcellaire	1/2 500			MORIN

TYPES DE LEVÉS		TYPE DE TRAVAUX	ÉCHELLES	MATERIEL préconisé	PRÉCISION des appareils	PRINCIPAUX Constructeurs
ALTIMETRIE						
- Nivellement direct	à lecture directe	Implantation Reconnaissance Prospection	1/1 000 à 1/10 000	Nivelette Règle Niveau à eau Collimateur	1 cm à 30,00 m	
	avec niveau à lunette	Rattachement au NG Aménagements hydroagricoles Implantation Etudes des pistes	1/1 000 à 1/5 000	Niveau à lunette	Niveau de chantier : 2 à 5 mm au km. N2, niveau d'ingénieur : 0,5 à 1 mm au km.	WILD ZEISS KERN MORIN du N0 au N4
- Nivellement indirect ou trigonométrique	Nivellement à clisimètre ou à courte portée	Prospection Etude préliminaire	1/1 000 à 1/10 000	Tachéomètre	2 à 3 centigrades pour les règles à éclimètres et 5 millièmes pour le clisimètre à collimateur, si pendu au doigt	WILD SLM

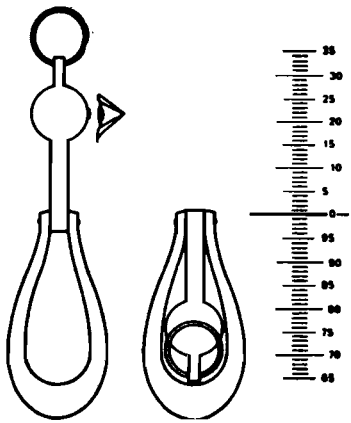
2.4. Le matériel d'enquête agricole :

Le clisimètre

Le clisimètre est un petit instrument de poche, indéréglable et précis, qui permet de mesurer aisément les pentes d'un terrain, c'est-à-dire l'inclinaison que fait une direction avec l'horizon.

Cet instrument se compose d'une masse pesante en forme de lyre suspendue par un cardan à un anneau et portant un collimateur à sa partie supérieure. Ce collimateur est constitué par une loupe épaisse dont l'une des faces est sphérique et l'autre plane, cette dernière étant dans le plan focal objet de la loupe. Sur cette face plane est collée une échelle photographiée, de sorte que l'image de celle-ci est à l'infini : l'intervalle entre deux traits consécutifs de l'échelle est égal à 1/100 de la distance focale de la loupe.

Pour utiliser le clisimètre, on le suspend à un doigt par son anneau et on le place en avant de l'œil, celui-ci étant proche de la surface courbe de la loupe. Dans ces conditions, l'image de l'échelle se forme à l'infini et paraît se superposer aux objets vus en vision directe. Le plan de visée zéro, matérialisé par le trait zéro de l'échelle et l'axe de la loupe, est réglé, par construction, perpendiculairement à l'axe du pendule, de sorte que ce plan est horizontal lorsque le pendule est en équilibre. Il suffira donc, pour obtenir la pente de la droite joignant le centre optique de l'œil à un point du terrain, d'amener ce point à se projeter sur l'échelle et de faire une lecture au droit de cette projection. L'échelle est graduée en centièmes, avec possibilité d'apprécier le dixième d'intervalle, soit le 1/1 000 pour la pente. La précision s'étend de — 0,35 à + 0,35. **La précision est de 5 millièmes.**



La planchette topographique Chaix

La planchette topographique Chaix est un instrument portatif permettant d'exécuter sans difficultés des tracés géométriques et, en particulier, les relevés de terrain.

Le principe consiste à faire les tracés sur un papier calque transparent en utilisant des instruments de dessin vus par transparence sous ce papier.

Ces instruments de dessin sont les suivants :

— un rapporteur à cercle entier qui donne les angles,

— un diamètre de ce cercle, gradué en millimètres, qui sert de double décimètre,

— un quadrillage qui sert d'équerre pour le tracé.

Tous ces instruments sont mobiles : le rapporteur C tourne pour donner toutes les valeurs angulaires, son diamètre H peut ainsi être présenté suivant toutes les directions, la plaquette B se déplace longitudinalement et le papier F se déplace transversalement en s'enroulant sur l'un ou l'autre des rouleaux D.

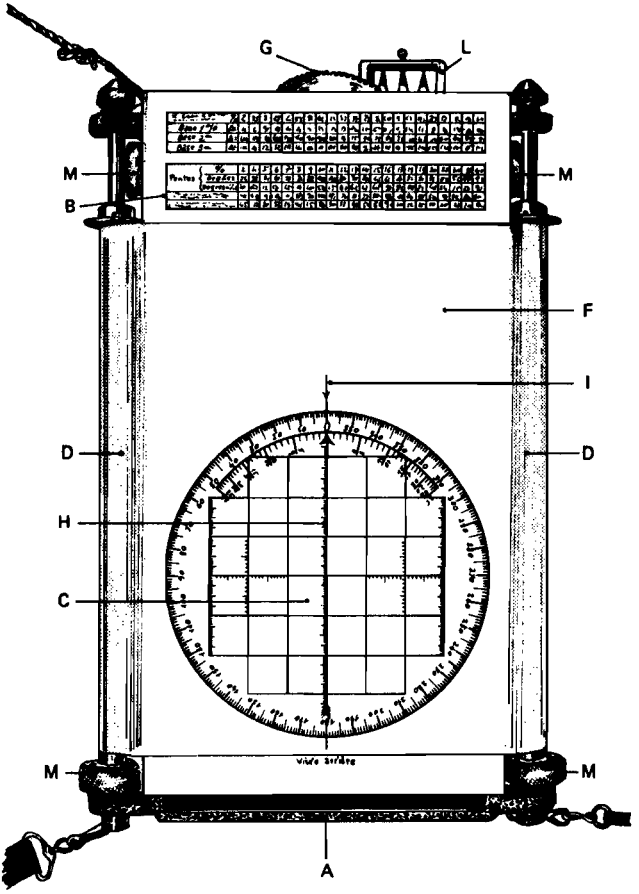
Les longueurs et les directions proviennent de mesures faites sur le terrain avec les instruments appropriés : topofil, boussole, clisimètre.

2.5 Normes topographiques

La densité des points généralement admise dans les levés topographiques est de :

1 point / ha	pour	le	1/10 000
2 points/ha	»	le	1/5 000
6 à 10 points/ha	»	le	1/2 000
15 à 30 points/ha	»	le	1/1 000
20 à 100 points/ha	»	le	1/500

Toutefois ces nombres sont fonction des caractéristiques du terrain que l'on veut lever et des spécifications du levé (régulier, expédié, etc.).



A - Bâti — B - Plaquette coulissante — C - Rapporteur tournant — D - Rouleaux papier calque — F - Feuille calque transparent — G - Molette d'orientation du rapporteur — H - Diamètre millimétré — I - Index des angles — L - Tiroir pour crayons et gomme — M - Molettes de manœuvre

PLANCHETTE TOPOGRAPHIQUE CHAIX

CHAPITRE IV

LA TÉLÉDÉTECTION

LA TÉLÉDÉTECTION

La télédétection au sens large recouvre l'ensemble des techniques permettant de saisir à distance (« télé ») des informations sur la surface terrestre. La télédétection comprend donc :
— outre la photographie aérienne classique,
— les différentes images fournies par les satellites d'observation de la terre,
— mais aussi un ensemble de techniques plus ou moins sophistiquées d'observations à distance, à partir de ballons ou d'avions à différentes altitudes, et utilisant l'ensemble du spectre électromagnétique (thermographie, radar, etc.).

Le présent chapitre ne saurait donc être exhaustif pour un domaine si vaste et en évolution rapide depuis une dizaine d'années. Il se limitera principalement :
— à rappeler succinctement les grands principes d'utilisation de la photographie aérienne,
— à présenter les différentes données satellitaires, leur domaine d'application, les développements et perspectives d'utilisation.

1. LA PHOTOGRAPHIE AERIENNE

La photographie est une technique assez récente, développée initialement par les militaires puis par les géographes. Depuis plusieurs décennies, les cartes topographiques sont systématiquement réalisées par photorestitution à partir de photographies aériennes (cf. § 1.3.1.).

1.1. Son utilité pour l'agronome et les projets de développement rural

L'agronome, qui est avant tout un homme de terrain, se trouve toujours confronté au problème de connaissance des zones sur lesquelles il intervient. Mais la vision que peut avoir un agronome de la réalité très complexe du terrain,

sera très variable suivant les niveaux géographiques d'approche, ou échelles de perception.

— les **observations très ponctuelles** (exemple : carré de rendement, profil cultural, trou à la tarière) sont très proches du terrain et sont généralement bien maîtrisées par l'Agronome, tout comme les **observations stationnelles** (parcelle, site, etc.).

— par contre, la bonne perception de zones plus vastes (exemple : terroir agricole, zone physiographique) relève de **l'observation du paysage** et s'avère beaucoup plus délicate : soit par manque de recul, soit parce que la perspective masque certains éléments ou fausse la perception (évaluation des pentes, du taux de couverture arborée, etc.).

— de même, la « perception linéaire » d'une région, obtenue par le parcours des axes routiers est généralement sujette à caution. Cette perception est d'une part séquentielle et liée à une durée, ce qui peut l'influencer. D'autre part les axes routiers ne constituent pas des transects aléatoires : ils empruntent de façon préférentielle les lignes de crêtes et évitent les bas-fonds ou les fortes pentes. Ils ne sont donc pas représentatifs du milieu physique. Enfin, axes privilégiés de colonisation et de mise en culture, ils fourniront une surévaluation du taux effectif d'occupation des sols.

Seule la photographie aérienne — et la télédétection au sens large — permet à l'agronome un recul objectif vis-à-vis de la réalité et une approche cartographique peu faussée par la perspective et les contraintes d'accès au terrain.

Or, savoir utiliser, lire, interpréter les photographies aériennes n'est pas une technique réservée aux seuls spécialistes. La maîtrise totale de la photo-interprétation nécessite de bonnes acuités physiques et psychiques, certaines bases théoriques, mais surtout une expérience longue, diversifiée, et liant la pratique du terrain à l'observation stéréoscopique. Toutefois une maîtrise partielle, plus ou moins bonne de la photointerprétation sera toujours un atout pour l'agronome, en particulier pour les projets de développement rural.*

Dans les pays sous-développés, les cartes de base disponibles sont généralement à petite échelle et souvent anciennes. L'utilisation de la photographie aérienne est alors indispensable :

— comme support de terrain, pour la simple localisation des observations,

— pour la conservation et la transmission des informations localisées, entre les différents techniciens ou ingénieurs qui se succèdent sur un projet (réalisation de cartes, même d'échelle approximative),

— pour l'extrapolation de données stationnelles et l'obtention d'une vue d'ensemble sur une zone d'action,

— pour la mise à jour des cartes existantes (pistes, occupation du sol),

— pour la cartographie précise du réseau hydrique, la délimitation des bassins versants,

— pour la recherche des sites, l'implantation d'aménagements, etc.

— enfin, pour la réalisation de cartes thématiques : occupation du sol, zonage pédo-géomorphologique, ressources forestières et pastorales, cartes d'aptitudes diverses, etc.

* Nous recommandons tout particulièrement au lecteur l'ouvrage « Télédétection-Principes et applications cartographiques » des Editions FORHOM, 1986.

Pour ces diverses utilisations, la photographie aérienne n'est jamais totalement une alternative à l'enquête de terrain ; c'est en fait un outil complémentaire, facilitant et valorisant le travail de l'agronome sur le terrain.

1.2. Quelques notions fondamentales

1.2.1. L'ECHELLE DE LA PRISE DE VUE

C'est le rapport entre la taille d'un objet tel qu'il apparaît sur la photographie et sa dimension réelle au sol.

Une photographie aérienne présente des déformations dues à l'angle de visée et aux variations du relief. **L'échelle d'une photographie aérienne est donc toujours approximative.**

La relation suivante permet de calculer l'échelle (1/E) en fonction de la focale de l'objectif (F) et de l'altitude de l'avion par rapport au sol (H) :

$$\frac{1}{E} = \frac{F}{H}$$

L'échelle de prise de vue conditionne la finesse et les détails perceptibles. Les photographies à grande échelle sont très détaillées mais ne fournissent qu'une vision fragmentée du paysage. De plus le nombre de clichés à manipuler pour couvrir une zone donnée augmente très rapidement pour les grandes échelles (fonction du carré de l'échelle) et devient une contrainte pour l'exploitation de la prise de vue.

ECHELLES — TYPES DE PRISE DE VUE AERIENNE

	Echelles	Surface couverte par un cliché 24 cm x 24 cm (ha)
Grandes	1/5 000 — 1/15 000	130 — 1 170
Moyennes	1/20 000 — 1/40 000	2 300 — 9 200
Petites	1/50 000 — 1/100 000	13 200 — 52 900

En pratique, une bonne photographie aérienne (chambre « métrique ») peut supporter des agrandissements jusqu'à 10 fois, et permet une photorestitution jusqu'à des échelles 4 fois plus grandes.

1.2.2. **La perception du relief** est possible à partir d'un couple stéréoscopique, constitué de deux clichés se recouvrant à 60-70 % pris successivement par le même avion le long d'une ligne de vol.

Le même objet au sol est donc photographié sous deux angles différents et avec des déformations, fonctions de son relief. L'observation à travers le stéréoscope fournit, à chaque œil, deux images différentes du même objet, dont la fusion, au niveau du cerveau, permet d'observer le relief.

Notre vision naturelle du relief s'atténue avec la distance à laquelle se trouve l'objet observé. Aussi, vue d'avion, la surface éloignée du sol semble totalement plane. La prise de vue aérienne compense cet inconvénient par le grand

éloignement des deux prises de vues constituant le couple stéréoscopique. Lorsqu'on observe un couple de photographies aériennes, le relief est plus marqué qu'il ne l'est en réalité : c'est **l'hyperstéréoscopie**.

Cette exagération de la hauteur (généralement de l'ordre de 2 à 3 fois) permet d'apprécier de faibles pentes.

Le coefficient d'hyperstéréoscopie dépend de la prise de vue (rapport B/H où B est la base, distance au sol séparant les deux centres des clichés mais aussi du grossissement des oculaires du stéréoscope.

1.2.3. LES EMULSIONS ET LEUR RESOLUTION

On utilise actuellement 4 types d'émulsions :

— **l'émulsion panchromatique (noir et blanc) :** cette émulsion donne des degrés de gris sur l'ensemble du spectre visible (avec filtrage de l'ultraviolet). On ne peut donc ni apprécier les phénomènes de couleur, ni avoir d'informations sur l'infrarouge. L'interprétation du résultat est assez simple : le gris sera d'autant plus clair que l'objet est clair, quelle que soit sa couleur, il sera d'autant plus foncé que l'objet est foncé, quelle que soit sa couleur : cela, bien entendu, dans tout le visible.

Son intérêt réside par contre dans la **très bonne résolution** avec, selon le contraste du paysage, de 60 à 120 lignes par millimètre de négatif : soit, à l'échelle du 1/25 000, des détails au sol de 20 à 40 cm...

— **l'émulsion couleur (couleur naturelle ou « vraie couleur ») :** c'est une émulsion trispectrale, puisque trois couches colorées différemment sont sensibles à des domaines limités du spectre. Le combinaison des trois couches colorées restitue, en principe, la couleur dans le visible et donc celle que l'œil humain percevrait. En effet, si la sensibilité et la réponse de la pellicule sont étalonnées sur celles de l'œil humain, les tirages sur papier n'assurent souvent pas la fidélité et la stabilité suffisantes.

Les émulsions « couleurs naturelles » ne donnent pas d'information sur le proche infrarouge et leur **résolution est médiocre** : 30 à 60 lignes/mm sur le négatif, soit, au 1/25 000, des détails de 45 à 90 cm au sol.

— **l'émulsion infrarouge noir et blanc :** c'est une émulsion monospectrale (degrés de gris) dont la sensibilité a été étendue au proche infrarouge (P.I.R.). Elle est généralement utilisée avec un filtre éliminant le bleu et le vert (type Wratten 25).

Interprétation : certes l'information du proche infrarouge est prise en compte mais elle est mélangée avec celle du rouge.

La végétation active, qui présente une forte réflectance dans le proche infrarouge, apparaît en teintes claires dans des grisés proches de ceux d'un sable sec, par exemple.

L'eau capte les radiations infrarouges et toute surface d'eau libre apparaîtra en noir. Entre un sol sec et un plan d'eau, en l'absence de végétation, toutes les catégories de sol plus ou moins humides seront représentées par des teintes variant du gris très clair au gris foncé.

L'utilisation de cette émulsion est donc assez délicate. Par pure commodité, on retiendra que l'image tendra :

- vers le gris clair si c'est un végétal actif ou un minéral sec et clair,
- vers le gris foncé si c'est un végétal inactif ou un minéral humide.

— **l'émulsion infrarouge couleur (I.R.C.)** : cette émulsion parfois appelée « fausses couleurs » donne la meilleure information sur les objets. Elle est en effet multispectrale (plusieurs couleurs) et s'étend au proche infrarouge. Cela est rendu possible en affectant par un traitement chimique les deux premières couleurs au visible — bleu excepté (filtrage) — et le rouge au proche infrarouge. Ce choix fait que l'image I.R.C. se démarque totalement de l'information visible ; il se justifie par l'aptitude de l'œil humain à distinguer un plus grand nombre de nuances dans le rouge que dans le vert, par exemple. Ce même choix est effectué pour la visualisation des images de satellite (combinaison colorée de type « fausses couleurs »).

Interprétation : C'est la présence de rouge dans la couleur résultante (marron, violet, rouge, orangé) qui témoignera d'une forte réflectance de l'objet dans le proche infrarouge. La végétation active, ainsi, apparaîtra dans un rouge plus ou moins pur.

On retiendra les règles de base suivantes :

Pôle « végétal » :
- Rouge vif : végétation verte très active : herbe verte, cultures irriguées, jeune forêt en pleine croissance.
- Rouge violet à marron-rouge : végétation verte moins active ou en mélange : forêt de feuillus, végétation plus ou moins active, etc.
- Marron-brun : résineux, épineux, cactacées et végétation au repos.

Pôle « eau » :
- Bleu, bleu noir : eau.

Pôle « minéral » :
- Bleu vert : sols avec herbes sèches peu réfléchissants, routes.
- Bleu, gris-beige : sols nus assez réfléchissants, plus ou moins secs.
- Blanc : sols nus très réfléchissants, très secs.

Attention : Ces règles sont générales, car une émulsion est une support assez capricieux qui peut subir des transformations lors de la prise de vue et du développement. Par ailleurs, en fonction de la saison et des conditions météorologiques, certains aspects se modifient fortement et la végétation, en particulier, répondra différemment en fonction :

- de son cycle : stades végétatifs et couverture du sol,
- de l'état de santé du végétal : stress hydrique, accident de croissance, attaque de parasites, etc.

La résolution des émulsions I.R.C. est de l'ordre de 35 à 70 lignes/mm (soit, au 1/25 000, des détails au sol de 35 à 70 cm).

1.3. Contraintes de mise en œuvre

1.3.1. REALISATION D'UNE PRISE DE VUE AERIENNE

Une prise de vue aérienne nécessite l'intervention d'avions spécialement équipés de **chambres métriques**, appartenant à des organismes nationaux ou à des sociétés privées spécialisées (par exemple : cabinet de géomètres, etc.).

L'organisation d'une prise de vue est une commande spécifique à établir en relation avec des professionnels et en fonction :

— des buts de l'étude : choix de l'échelle, du type d'émulsion, mais aussi de la

période de prise de vue optimum (saison, en fonction des données à observer, etc.),
— des contraintes de réalisation : climat, altitude, relief, autonomie de vol de l'avion et distance aux pistes d'aviation les plus proches, etc.

Une prise de vue aérienne nécessite une préparation (repérage précis de la zone à couvrir, plans de vol, etc.) mais aussi généralement des autorisations (aviation civile ou armée).

Le coût d'une prise de vue sera en définitive **très variable** en fonction des contraintes d'approche et des contraintes climatiques, celles-ci pouvant immobiliser longuement l'avion et son équipage dans l'attente d'une météorologie favorable.

Il n'est pas rare que les coûts d'approche et l'immobilisation représentent plus de 70 % d'une prise de vue aérienne. On ne saurait donc qu'encourager les projets à se tenir informés des déplacements d'avions équipés pour la photographie aérienne et à saisir les opportunités de prise de vues.

1.3.2. CHOIX DES EMULSIONS

L'émulsion panchromatique est de loin la plus utilisée, car c'est elle qui fournit le maximum d'informations pour un prix minimal et avec le minimum de risques.

En effet, **l'émulsion couleur** ne peut être employée **qu'à basse altitude**, sous peine d'une perte considérable de contraste. En effet, la diffusion de la lumière à travers l'atmosphère provoque une désaturation des couleurs (voile bleuâtre).

A l'opposé, les rayonnements **infrarouges** percent les brumes peu denses et sont d'une grande utilité en zone tropicale (brumes sèches, brumes humides légères). Il faut, pour le P.I.R. éviter les fortes ombres, en opérant si possible sous un ciel couvert de nuages à hautes altitudes. Mais les émulsions infrarouges ont aussi des inconvénients : elles ne gardent que peu de temps leur sensibilité. Elles doivent être conservées à faible température, avec beaucoup de précautions, ce qui rend leur utilisation délicate en pays tropicaux.

Une solution fréquemment utilisée est la prise de vue simultanée et de façon synchrone combinant :
— une émulsion panchromatique (chambre métrique 24 cm x 24 cm),
— une émulsion I.R., couleur (boîtier 70 mm).

Par ailleurs si le coût des émulsions infrarouges couleur est de l'ordre du triple du panchromatique, son incidence sur le coût total reste faible puisque l'émulsion représente en général moins de 10 % du coût d'une prise de vue.

1.3.3. UTILISATION ET STOCKAGE

— Tous les films et documents photographiques sont relativement fragiles et s'altèrent dans des conditions d'humidité et/ou de chaleur (développement de moisissures, altération des couches allant jusqu'à la disparition de l'image). C'est pourquoi les **négatifs originaux** doivent être conservés dans un endroit climatisé et à humidité contrôlée. On préférera même avoir deux jeux de négatifs stockés dans deux endroits différents.
— Dans de bonnes conditions (5° C, 65 % d'humidité), les films se conservent plus de vingt-cinq ans.

— Tous les tirages papier existent en mat (permettant d'écrire directement) ou en brillant (résistant mieux). Les tirages couleur sont beaucoup plus fragiles et leurs couleurs vont s'altérer en fonction des conditions d'utilisation en l'espace de deux à dix ans.
— Les I.R.C. sont souvent réalisés en films positifs (type « diapositive »). Ils nécessitent donc une table lumineuse pour être observés, mais ils auront aussi une résolution bien supérieure aux tirages papier couleur.

1.4. Utilisation et exploitation des photographies aériennes

— Les photographies aériennes constituent avant tout un **support de terrain** précis ou un **fond de plan**, pratique pour localiser des informations enquêtées ou extraites par photointerprétation :
  • Un **simple agrandissement** adapté à l'échelle de travail peut parfois suffire dans les zones planes.
  • L'**orthophotoplan** est une photographie aérienne parfaitement redressée et restituée suivant une projection orthogonale. Il est souvent habillé de surcharges et d'indications (toponymie, coordonnées, courbes de niveau, etc.). Ce document, relativement bon marché par rapport à la réalisation d'une vraie carte, reste trop peu utilisé.
  • Sur une zone plus vaste il est possible de réaliser des **mosaïques** qui sont des assemblages plus ou moins rigoureux de photographies aériennes. La mosaïque est **semi-contrôlée** si elle respecte les distances et les angles principaux fournis par une carte topographique ; elle est **contrôlée** lorsqu'elle est constituée de photographies redressées (c'est-à-dire mises à une échelle rigoureuse et corrigées lors du tirage).
— La **photo-interprétation** est une technique à la portée de l'agronome de terrain, mais qui nécessite une expérience pratique et de bonnes aptitudes ; il est possible de distinguer les niveaux suivants :
  • La **photo-identification** : reconnaissance d'objets simples, visibles par le cliché : route, arbre, rivière, pont, etc... ou **photodétermination** (utilisant la logique) d'objets non directement connus et de phénomènes simples.
  • La **photo-interprétation**, qui est une **analyse déductive** établissant des relations complexes entre plusieurs objets souvent non visibles sur le cliché (par exemple : sol peu profond, présence d'une nappe phréatique). Cette analyse mène à des **lois de corrélation** entre les objets et à une **compréhension globale** des structures du milieu, des interactions entre facteurs naturels et humains.

La photo-interprétation fait donc appel à la spécialisation et aux compétences de l'interprète, à ses **connaissances** et surtout à son **expérience propre** du terrain. Il ne peut donc y avoir photointerprétation sans travail de terrain, bien qu'avec l'expérience, ce travail puisse être considérablement réduit.

1.5. Deux approches alternatives ou complémentaires à la photographie aérienne classique ont été mises en œuvre avec succès dans certains pays tropicaux :
— **La photographie aérienne basse altitude**, qui permet de constituer une couverture échantillonnée, exploitable statistiquement de façon rapide. Le

sondage aléatoire est assuré par une prise de vue à intervalle régulier et suivant des transects. La grande échelle (1/5 000 — 1/15 000), l'utilisation d'émulsion diapositive en petit format (24 x 36, 60 x 60) et l'exploitation par projection permettent une identification précise, un dénombrement et l'obtention de **statistiques** sur :

- les cultures, leur état de développement (1),
- les ressources ligneuses et les arbre utiles,
- les troupeaux des éleveurs nomades (2), la faune sauvage,
- et, plus généralement, sur tous les objets visibles : campements, villages, puits, jardins, cultures de contre-saison, etc.

— L'**U.L.M. (« Ultra-Léger-Motorisé »)**, qui est un moyen pratique et peut coûteux pour observer ou suivre une zone de projet peu étendue (exemple : un périmètre irrigué). Peuvent lui être associés des boîtiers photographiques petits formats, mais aussi une caméra vidéo (image immédiatement exploitable) ou différents radiomètres (3).

Pour ces deux techniques, l'observation du terrain peut se faire en visée verticale ou oblique. Mais ces approches ne sauraient remplacer totalement une prise de vue aérienne classique (stéréoscopie, restitution photogrammétrique). Elles doivent être parfaitement adaptées à un problème particulier, et leur mise en œuvre nécessite :

- une préparation rigoureuse : optimisation des paramètres (échelle, focale, altitude, taux d'échantillonnage, etc.) en fonction des besoins, repérage et plans de vol, etc...
- de grandes précautions, en particulier pour l'U.L.M. du fait de sa faible autonomie de vol, de la présence de fortes turbulences atmosphériques en zones tropicales... Signalons par ailleurs que l'emploi de l'U.L.M. est encore très délicat dans certains pays (difficultés de contrôle des plans de vol, problèmes d'assurance, vide législatif, etc.).

2. LES IMAGES SATELLITAIRES

Les satellites d'observation de la terre se sont fortement développés depuis une dizaine d'années, entraînant l'essor de la **télédétection spatiale*** (souvent dénommée simplement « Télédétection », de façon restrictive).

En fait la télédétection spatiale couvre toute une gamme d'échelles d'approches et des domaines variées intéressant l'agronomie et le développement rural : météorologie, agroclimatologie, suivi des campagnes, identification des cultures, statistiques agricoles, cartographie thématique, etc.

---

(1) Voir, en particulier, les travaux du KREMU au KENYA, ou les études du BDPA au NIGER (SOSPAT 1986-1987).

(2) Voir en bibliographie les travaux du CIPEA (1986).

(3) Voir en bibliographie les travaux de GREGOIRE (ISPRA, 1987).

* Le vocabulaire de la télédétection aérospatiale comporte un grand nombre de termes spécifiques et a été marqué fortement par des anglo-américanismes : nous recommandons vivement à l'agronome devant approfondir ce domaine et particulièrement au coopérant résidant dans un pays francophone de se référer aux termes et aux définitions arrêtées par la **Commission de Terminologie de télédétection aérospatiale** (Ministère de l'Education Nationale, Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur) publiés au Journal Officiel (Novembre 1984, Janvier 1986 pour SPOT, 17 Avril 1987 pour l'Imagerie Radar).

Le présent sous-chapitre se limitera à présenter les satellites et leurs principales caractéristiques, à rappeler les quelques notions de base nécessaires à la bonne compréhension de la télédétection, enfin à esquisser les principes d'utilisation des données satellitaires.

2.1. Les différents satellites d'observation de la terre

Le tableau de la page suivante récapitule les caractéristiques des 5 principaux satellites de télédétection actuels. Il appelle les commentaires suivants :

— Les différents types de satellites : METEOSAT qui est le seul **satellite géostationnaire**, reste fixe, à la verticale d'un point situé sur l'Equateur. Les autres satellites sont à **défilement**, avec une orbite héliosynchrone (c'est-à-dire qu'ils passent toujours à la même heure à une latitude donnée).

— Il existe un antagonisme évident entre finesse de perception d'une part, champ observé, et fréquence d'obtention des images d'autre part :
Ainsi plus la perception est fine, plus le champ se réduit (effet de zoom), mais aussi plus la fréquence d'observation diminue.

— Ce principe conditionne en grande partie les possibilités d'utilisation des données satellitaires : à **l'échelle géographique** de perception, sera également liée une **échelle de temps**, (ou pas de temps), tout aussi importante pour la définition des phénomènes observables.

— On distingue ainsi, généralement : les **satellites météorologiques** à faible résolution et forte répétitivité, (METEOSAT, NOAA), des **satellites de ressources terrestres** à résolution fine et faible répétitivité (LANDSAT, SPOT).

2.2. Constitution de l'image satellite

— Une image numérique :

L'ensemble de la surface du globe est analysé par un balayage (physique ou électronique) et par le déplacement du satellite sur son orbite (voir figure ci-après).

L'image est enregistrée ou émise vers le sol comme une série ordonnée de valeurs numériques, qui reconstitueront l'image sous les formes d'une matrice de points plus ou moins lumineux.

L'image est donc **numérique** et son analyse peut être faite très rigoureusement par des traitements sur ordinateur.

— La résolution géométrique :

Le point élémentaire constitutif de l'image est appelé « **Pixel** » (de l'Anglais « Picture element »).

La résolution géométrique de l'image est donnée par la dimension de l'échantillon de surface au sol qui sera capté pour constituer un pixel. Elle conditionne ainsi la taille minimum des objets perçus et par la suite l'échelle de perception et de restitution de l'information.

En pratique, la résolution est exprimée par une distance au sol correspondant à R dans la figure précédente.

Ramené en surface, la taille des objets perçus est fonction du carré de la résolution.

La saisie et la restitution de l'information par le satellite

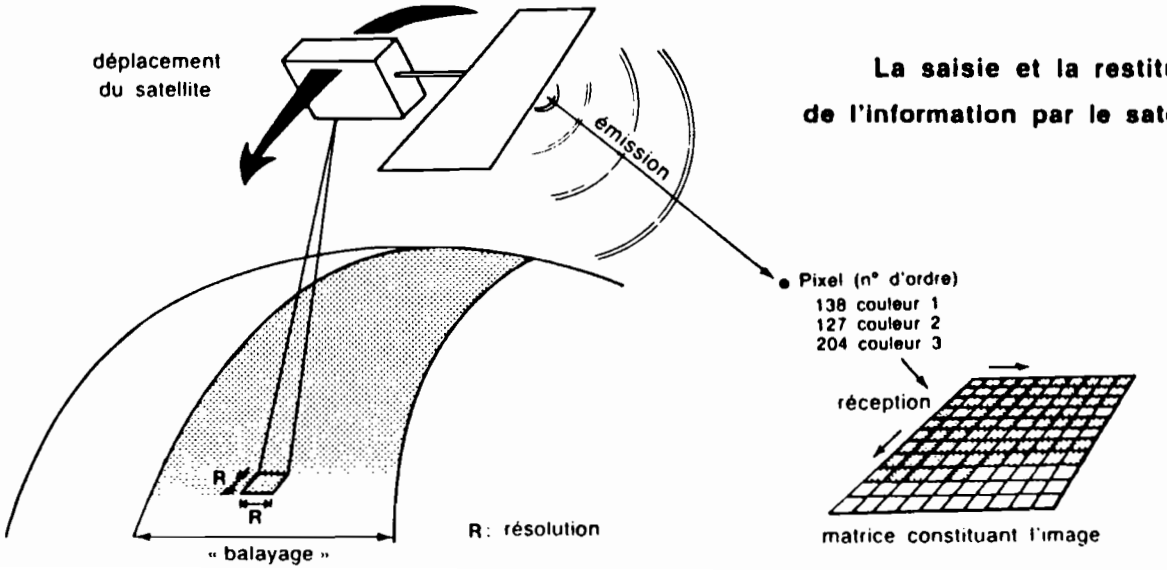


TABLEAU COMPARATIF DES PRINCIPAUX SATELLITES D'OBSERVATION DE LA TERRE

Nom du satellite (capteur)	METEOSAT	N.O.A.A. 7-8 (AVHRR)	LANDSAT 1, 2, 3, 4, 5 (M.S.S.)	LANDSAT 4-5 (M.S.S.)	SPOT 1 (HRV)	
Pays et date de lancement	EUROPE 77-81	USA 78-83	USA 72-84	USA 82-84	FRANCE 86	
Orbite et altitude	Géostationnaire sur l'Equateur 35 800 km	Orbite héliosynchrone 850 km	Orbite héliosynchrone 700-900 km	Orbite héliosynchrone 700 km	Orbite héliosynchrone 832 km	
Cycle	—	16 jours	16-18 jours	16 jours	26 jours	
Répétitivité pour un point au sol donné	30 mn	12 h (champ large) 6 h avec 2 satel.	Tous les 16-18 jours	Tous les 16 jours	Tous les 3 à 5 j (dépointage)	
Visée	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale et oblique (± 27°)	
Largeur du champ observé	Le globe soit 13 000 km²	environ 3 000 km	180 km	180 km	60 km (x 2)	
Nombre de bandes spectrales	3	5	4	7	Mode XS* 3	Mode P* 1
Longueur d'onde en µm**						
visible Bleu	(1) 0,40		(4) 0,50-0,60	(1) 0,45-0,52		
Vert		(1) 0,58	(5) 0,60-0,70	(2) 0,52-0,60	0,50-0,59 (1)	0,51 (P)
Rouge		(1) 0,68		(3) 0,63-0,69	0,61-0,68 (2)	0,73

Nom du satellite (capteur)	METEOSAT	N.O.A.A. 7-8 (AVHRR)	LANDSAT 1, 2, 3, 4, 5 (M.S.S.)	LANDSAT 4-5 (M.S.S.)	SPOT 1 (HRV)	
Proche infrarouge	1,10	(2) 0,72-1,10	(6) 0,70-0,80 (7) 0,80-1,10	(4) 0,76-0,90	0,79-0,89 (3)	
Moyen infrarouge	(2) 5,70 7,10	(3) 3,53-3,93		(5) 1,55-1,75 (7) 2,08-2,35		
Infrarouge thermique	(3) 10,50 12,50	(4) 10,30-11,30 (5) 11,50-12,50		(6) 10,04-12,50		
Résolution au sol (pixel)	2,5 km (1) ou 5 km (2, 3)	1 km (à 3 km sur bordures)	79 x 56 m (recalibré en 80 m)	30 m (120 m pour canal 6)	20 m	10 m
Echelles pratiques d'utilisation	1/2 000 000 au 1/8 000 000	1/500 000 au 1/2 000 000	1/200 000 au 1/1 000 000	1/100 000 au 1/500 000	1/50 000 au 1/200 000	1/25 000 au 1/100 000
Domaine d'utilisation						
Météorologie	■■■■■■■■	■■■				
Agroclimatologie	■■■■	■■■■■■■■			(futur SPOT 4)	
Suivi bioclimatique		■■■■■■■■			■■■■■	■■■■
Identification des principales cultures			■■■■■■■■	■■■■■■■■	■■■■■	■■■■
Cartographies thématiques			■■■■■■■■	■■■■■■■■	■■■■■	■■■■
Cartographie topographique					(stéréoscopie) ■■■	■■■■

* Modes de saisie SPOT : XS = Multispectral, P = Panchromatique

** (1) Numéro des canaux ; 0,4-1,10 = bande spectrale en µm (millième de millimètre)

Satellite	Résolution	Surface du pixel (ha)	Nombre de pixels par unité de surface
METEOSAT	2,5-5 km	625-2 500	0,04-0,16/km
NOAA	1-3 km	100-900	0,11-1,00/km
LANDSAT MSS	80 m	0,64	1,6/ha
LANDSAT TM	30 m	0,09	11 /ha
SPOT XS	20 m	0,04	25 /ha
SPOT P	10 m	0,01	100 /ha

Autrement dit, à l'intérieur d'une surface R x R, une seule valeur sera captée, correspondant à la moyenne pondérée des réponses spectrales des différents objets constituant le pixel.

La possibilité de discriminer un objet sera ainsi fonction de sa taille mais aussi de son contraste dans l'environnement.

— **Les bandes spectrales :**

Dans les images satellitaires, les réactifs chimiques des pellicules photographiques, souvent capricieux, sont remplacés par des capteurs électroniques parfaitement calibrés et sensibles à des plages de rayonnement limitées : les bandes spectrales, choisies en fonction de la réponse spécifique des objets : le P.I.R. , par exemple, est fondamental pour fournir des informations sur l'eau et la végétation active.

Les nouveaux capteurs peuvent ainsi discriminer 255 niveaux théoriques de réflectance, puisque l'information est codée sur 8 bits ; mais la dynamique propre de la scène observée limite souvent l'information à une centaine de niveaux, — soit, pour 3 canaux, de l'ordre de 106 « couleurs » différentes ! —. A titre de comparaison une photographie aérienne classique ne comporte qu'une trentaine de grisés...

2.3. Les prétraitements d'image et les produits standards

2.3.1. Les différentes **stations de réception** (plus de 20 dans le Monde pour l'ensemble des satellites cités) sont généralement liées à des **centres de traitement** des images qui vont, à partir des données brutes, fabriquer et distribuer aux utilisateurs différents produits.

Les prétraitements numériques effectués par ordinateur dans ces centres permettent :

— de rectifier les images géométriquement et radiométriquement (filtrage, délignage, etc.),

— d'optimiser la dynamique de l'enregistrement par rapport à celle d'un film et de **restituer l'image sur un film**,

— ou de formater les informations suivant différents standards (**bandes « CCT »**).

A titre d'exemple les **données SPOT** peuvent être prétraitées suivant quatre niveaux :

1 A : Pas de correction.
1 B : Corrections radiométriques et quelques rectifications géométriques.
2 : Corrections géométriques sur une référence cartographique (précision 40 m).
S : Superposabilité sur une autre image (précision 20 m).

Le produit de base, adapté aux applications thématiques simples, est le niveau 1 B.

2.3.2. LES PRODUITS PHOTOGRAPHIQUES

— Le « **quick-look** » est une restitution rapide destinée, entre autre, à localiser les nuages, à évaluer la zone couverte.
— **Les films** sont généralement fournis à des petites échelles (1/200 000 - 1/400 000 pour SPOT TM, 1/500 000 - 1/1 000 000 pour LANDSAT) permettant des **agrandissements sur papier** à des échelles variables (jusqu'au 1 50 000 pour SPOT).

Les **compositions colorées** sont réalisées à partir des 3 canaux (2 visibles, 1 P.I.R.) et leur utilisation est semblable à celle d'une photographie infrarouge couleur.

2.3.3. **Les bandes magnétiques** permettent d'utiliser toute l'information perçue par le capteur, par des traitements numériques adaptés au sujet à traiter, mais **nécessitant un ordinateur et des logiciels spécialisés de traitement d'image**.

Le volume d'informations représentant une image est considérable et doit pouvoir être traité de façon interactive, en temps réel (visualisation des résultats).

A titre d'exemple, une scène SPOT couvre 60 x 60 km, contient 3 000 x 3 000, soit 9 x 10^6 pixels, caractérisée par 3 réponses (vert, rouge, proche infrarouge) codées sur un octet (255 valeurs), d'où un volume total d'informations de 27 MO.

2.3.4. COMMANDE ET OBTENTION DES DONNEES

— Les images disponibles font généralement l'objet de catalogues publiés ou de listes pouvant être consultées par télécommunication (exemple : SPOT-Image).
  • Les images sont répertoriées suivant une **grille de référence** (traces du satellite, coordonnées géographiques). SPOT utilise un code à 2 nombres : K.J (K : colonne ; J : ligne).
  • Le catalogue indique ensuite un certain nombre de paramètres utiles pour le choix de l'image : date (année, mois), présence de nuages, qualité générale, mode spectral et angle de visé (pour SPOT), etc.
— **L'archivage** n'est assuré que pour les satellites d'observation de la terre, mais la disponibilité d'une zone précise à une saison donnée n'est jamais assurée. Pour les satellites météorologiques, une archive minimum est maintenue (de 1 à 3 ans), le nombre des données reçues quotidiennement impose une sélection et la fabrication des produits dérivés.

Ainsi les données NOAA sont disponibles :

• à pleine résolution (= 1 km^2) ; données LAC,

• sous une forme échantillonnée (1 pixel sur 4 en x et y, soit un pixel de 16 km^2) : données GAC.

Il peut également être réalisé des images cumulant et lissant l'information recueillie pendant une semaine ou une décade (valeur maximum enregistrée par exemple dans chacun des canaux).

— Le **satellite SPOT** permet, outre l'achat sur catalogue, la **programmation** de prise de vue à des dates précises sur des zones définies, grâce aux possibilités de dépointage.

— **Les adresses** des principaux distributeurs de données satellitaires sont mentionnées à la fin de ce chapitre.

2.4. L'exploitation des images satellitaires peut se faire suivant deux types de traitement :

— La **photo-interprétation visuelle** (traitement analogique) mettant en jeu toute l'expérience thématique de l'interprète, mais aussi sa subjectivité.

— Le **traitement numérique** sur ordinateur, utilisant un certain nombre de fonctions de calcul et de traitements logiques.

Ces deux démarches souvent présentées comme antagonistes, s'avèrent, du moins pour les satellites de ressources terrestres, **complémentaires** : en effet, les traitements numériques les plus complexes (morphologie mathématique) ne remplacent pas encore l'intelligence et l'expérience du photo-interprète confirmé, pour certains raisonnements déductifs faisant intervenir, en plus de la forme et du contenu de l'objet, des critères de proximité, de position dans le paysage, etc.

Une démarche optimum combinera souvent les deux types de traitements ; en voici deux schémas-types :

Photo-interprétation ⟶ Zonage/Stratification ⟶ Traitements numériques limités

Traitement numériques ⟶ Image améliorée ou préclassement ⟶ Photo-interprétation ⟶ Classement définitif

2.4.1. **La photo-interprétation visuelle** se fait sur composition colorée (type infrarouge couleur) ou sur des images améliorées pouvant contenir des « néo-canaux » (composantes principales, indice de végétation, etc.).

2.4.2. **Les traitements numériques** sont nombreux et complexes : à l'analyse statistique de la population que constituent les pixels, s'ajoutent des traitements spécifiques développés depuis moins de 10 ans :

— **Corrections géométriques, radiométriques :** amélioration de la dynamique des canaux, correction de dérive, etc.

— **Opérations arithmétiques :** l'addition, la soustraction de canaux sont significatives de certains phénomènes. Signalons entre autres :

- **Les indices de végétation**, calculés à partir de la différence PIR - R et en particulier la différence normalisée : (PIR - R)/(PIR + R). Ces indices traduisent à la fois le volume et l'intensité d'activité chlorophyllienne de la végétation verte ; appelés souvent à tort « biomasse », ils constituent en fait plutôt un indicateur de la variation instantanée de biomasse.
- **Les indices de brillance** traduisent globalement la réflectance de l'objet-pixel :

$$\sqrt{R^2 + PIR^2}$$

— Des **opérations statistiques** (analyse en composante principale, histogrammes, etc.),
— Des **opérations de seuillage** (passe-haut, passe-bas, passe-bande) et différentes opérations logiques.
— Des **classifications** « automatiques », à partir des critères statistiques définissant différents objets connus (maximum de vraisemblance, etc.),
— Des **opérations de pondération ou de lissage**,
— Des **opérations plus complexes**, de filtres, de recherche d'alignement, de détection de contour, d'analyse de texture, de morphologie mathématique (opérations assez lourdes concernant des ensembles de pixels).

2.4.3. **Le matériel de traitement d'image** est un matériel spécialisé de type mini ou micro-ordinateur, doté de périphériques adaptés :
— écran couleur haute résolution (visualisation),
— plans mémoires (images et graphiques),
— imprimantes couleur,
— dérouleur de bande.

Les logiciels sont aussi importants que le matériel, ils conditionnent les traitements possibles mais aussi leur souplesse et rapidité d'exécution.

Depuis peu, les systèmes et logiciels de traitement d'image sur micro-ordinateurs de type PC-AT se développent. Leur ordre de coût est de 200 000 à 300 000 F ; les mini systèmes plus performants coûtent de 700 000 à 2 000 000 F (base 1987).

2.5. Les utilisations des images satellitaires son très variées et en plein développement.

2.5.1. **Les satellites météorologiques** permettent entre autres :
— une **meilleure spatialisation des données conventionnelles** obtenues par le réseau météorologique traditionnel,
— une appréhension du **bilan radiatif** et de ses composantes (albedo, rayonnement solaire, évaporation, etc.) ainsi que de la **pluviométrie** (occurrence des nuages à sommet froid) — cf. les travaux du centre de LANNION et de l'INRA d'AVIGNON,
— l'**obtention de données agro-climatiques nouvelles** à forte signification biologique (température de surface, évapotranspiration régionale),
— le suivi des campagnes agricoles, la détection d'anomalies, les déclenchement d'avertissement (alarmes précoces),
— le suivi de l'indice de végétation obtenu par NOAA aboutirait à différentes évaluations de biomasse (zone pastorale) ou à des évaluations de rendement dont l'intérêt est primordial en zone sahélienne.

2.5.2. Les utilisations des **satellites haute résolution**, plus proches de la photographie aérienne, sont plus traditionnelles et couvrent l'ensemble de la cartographie thématique (occupation des sols, géomorphologie, etc.).
— Par rapport aux photographies aériennes, ces satellites présentent les atouts suivants :
  • Une **meilleure vision d'ensemble**, sur des grandes zones (3 600 km² pour SPOT, 32 400 km² pour LANDSAT) : ce recul est décisif pour l'appré-

hension de certains phénomènes géologiques (structure géologiques, linéament), mais aussi pour la mise en évidence des unités de paysage (physiographie), des terroirs, des gradients climatiques, etc.

- Une excellente **qualité géométrique** des images SPOT, du fait d'un angle de visée très faible : une scène SPOT constitue ainsi, au niveau 1B, une bonne esquisse de fond cartographique tout à fait acceptable pour beaucoup de projets qui en sont démunis (échelle 1/100 000 ou 1/50 000 en panchromatique). Par ailleurs la possibilité de **stéréoscopie** offerte par **SPOT** (dépointage) permet la **photorestitution** (cartographie des courbes de niveau ou réalisation de modèles numériques de terrain) à des échelles proches du 1/50 000.
- La **répétitivité** et le coût relativement faible font des images satellites un bon outil :
  - de perception des **phénomènes temporaires** (crues, feux de brousse, etc.),
  - de suivi de certaines **évolutions** : surfaces agricoles, périmètres irrigués, mais aussi cartographie des terroirs, approches des dynamiques d'occupation des sols (jachères, rotations) etc.

— En contrepartie, il est nécessaire de garder en mémoire que pour certaines utilisations (cartographie à grande échelle) et dans certains milieux (micro-paysannat, cultures associées complexes, etc.) l'imagerie satellitaire actuelle ne peut remplacer la photographie aérienne : rappelons en effet que la résolution d'un cliché panchromatique au 1/25 000 est bien inférieure à 0,50 m !

— Par ailleurs, on ne saurait trop insister sur les points suivants :

- La réponse spectrale d'un pixel est conditionnée par la proportion des différents éléments constitutifs (sol, eau, plante) et par leurs caractéristiques : couleur, humidité ; turbidité et profondeur ; stade de développement, densité de la culture, maladie, stress hydrique, présence d'adventices,etc.).
- La discrimination de deux cultures n'est souvent possible qu'à des périodes précises et/ou si les deux calendriers de culture sont sensiblement différents.
- La nébulosité pendant la saison des pluies est une contrainte importante pour l'obtention d'images.
- La puissance des traitements numériques, l'apparente « automaticité » des résultats (cartographie, planimétrage) ne garantissent en aucun cas leur exactitude. La mise en œuvre de la télédétection implique au contraire, pour les études détaillées, un surplus de rigueur dans les contrôles au sol : cartographie et localisation précise de petites zones (25 à 100 ha) destinées à paramétrer les traitements numériques (« entraînement » des classifications) puis à valider les résultats (matrice de confusion).
- La grande différence de perception entre l'image satellitaire et le terrain, rend généralement nécessaire l'emploi d'une échelle intermédiaire (la photographie aérienne) pour les contrôles de terrain. Dans de nombreuses situations, la **photographie aérienne** ou le survol de transect constitue la meilleure « **réalité-terrain** » pour l'image satellitaire.

2.6. L'imagerie radar et ses perspectives

Le radar est un système de télédétection « **actif** » car il détecte l'écho produit sur le sol par les ondes radio-hyperfréquences qu'il émet.

La télédétection hyperfréquence est en plein essor depuis quelques années, avec entre autres, le satellite SEASAT (1978). Elle est porteuse de grands espoirs, en particulier pour les zones à fortes nébulosités : les calottes polaires (suivi des banquises, formation des icebergs), les zones équatoriales où l'obtention d'images du sol est très difficile.

Mais la technique de l'observation de la terre par radar est particulièrement complexe, met en œuvre de nombreux paramètres (incidence, polarisation, résolution spatiale, calibrage divers...) et l'exploitation thématique de l'imagerie radar est encore très expérimentale.

Les cinq années à venir doivent connaître un développement important de l'imagerie radar, qui permettra d'en définir les applications opérationnelles ; signalons en particulier :

— Le **radar VARAN-S** (CNES) qui permet de couvrir des scènes de 10 x 10 km avec des résolutions de 1,6 m, 3 m, 4,8 m ou 9 m (radar aéroporté à 6 000 m) ; les simulations effectuées permettent d'évaluer à 3 m la résolution qui serait obtenue d'une orbite satellitaire (600 à 800 km).

— Le lancement prévu en 1990 du **satellite européen ERS 1** qui sera équipé d'une plate-forme radar.

QUELQUES ADRESSES UTILES

Formation

— **G.D.T.A. (Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale) :** 13, rue Edouard Belin — 31055 TOULOUSE Cedex — FRANCE — Tél. : 61.27.42.76 — Télex : 531. 081 F.
Le GDTA est un GIE créé en 1973, et regroupant 5 membres (le CNES, l'IGN, le BRGM, le BDPA et l'IFP). Il propose différents cycles de formation :
— le CETEL, Cycle d'enseignement en télédétection (12 mois),
— le SITEL, Stage d'initiation (4 semaines),
— les cycles SPOT (2 semaines),
et organise des stages spécialisés à la demande.
Le **centre de documentation** du GDTA regroupe plus de 1 800 ouvrages sur la télédétection.

— **Centre Régional de Télédétection de Ouagadougou :** BP 1762 OUAGADOUGOU — BURKINA FASO — Tél. : 33.50.91 — Télex : 5322 BF (CRETED).
Ce centre créé en 1977 est régional (15 Etats-membres), il propose des stages réguliers de 9 mois (Français ou Anglais) et organise des stages spécialisés.

— **Centre Régional de Télédétection de Nairobi :** (RCSSMRS) Po Box 18118 — NAIROBI — KENYA — Tél. : 80.33.20 — Télex : 25283 (REGSURVEY).
Ce centre créé en 1975, regroupe une dizaine d'Etats-membres de l'Afrique de l'Est. Il propose des cours de 3 mois, des stages de 3 semaines d'initiation à la télédétection ou spécialisés sur des thèmes précis.

— **Ecole Nationale des Sciences Géographiques :** 2, avenue Pasteur — BP 68 — 94160 SAINT MANDÉ — FRANCE. Tél. : (1) 43.74.12.15 — Télex : 210 551 F (IGN SMD).

Propose chaque année tout une gamme de modules et de stages couvrant l'ensemble des techniques de télédétection et de cartographie.

Distribution des données

— **Les données METEOSAT** sont commercialisées par le Centre de DARMSTADT de l'ESA (European Space Agency) : Robert Bosch Strasse, 5 — 6100 DARMSTADT. Tél. : 61.51.88.61 (Télex : 419453).
— **Les données NOAA** sont distribuées par l'Administration Américaine : NOAA/NESDIS, satellite Data Services Div (D56) WORDL WEATHER Building, WASHINGTON DC 20233 — USA.
— **Le G.D.T.A.** (adresse ci-dessus) commercialise des produits dérivés des données NOAA (indice de végétation, température de surface) sur les zones couvertes par les stations de LANNION et MAS PALOMAS (Europe, Afrique de l'Ouest).
Le **Centre Agrhymet** à NIAMEY (adresse ci-après) est équipé d'une station de réception NOAA couvrant toute l'Afrique de l'Ouest, de l'Est et une partie de l'Afrique Centrale.
— **Les données SPOT** sont commercialisées par :
SPOT-Image : 16 bis, avenue Edouard Belin — 31055 TOULOUSE Cedex — FRANCE — Tél. : (033) 61.27.31.31 — Télex : 531.081 F.
— **Les données LANDSAT** sont distribuées pour l'Amérique du Nord par : EOSAT, 8202 Corporate Drive, Suite 450, Metroplex II — LANDOVER, MARYLAND, 20785 — USA. Pour l'Europe par : EURIMAGE, Elstree way. Borehamwood — HERTS —WD 61 SB — England — Tél. : 01 953 6161 — Télex : 73517 HUNBOR.G.
Ainsi que par le GDTA.

Services divers :

— Centre **Agrhymet**, BP 11011 — NIAMEY — NIGER — Tél. : 73.31.16 (Télex : 5448 NY), couvre l'ensemble des pays du CILSS en agro-météorologie et hydrologie opérationnelle : publie un bulletin décadaire ou mensuel de suivi-évaluation des campagnes agricoles ; organise des cycles de formation ; recevra et distribuera certaines données NOAA (1989).
— **BDPA - SCET AGRI**, Direction Géographique des Ressources Naturelles, 27, rue Louis Vicat — 75738 PARIS Cedex 15 — Tél. : 46.38.34.75 — Télex : 250.620 F.
— **Bureau ORSTOM de Télédétection :** SCC, 70-74 route d'Aulnay — 93140 BONDY.
— **I.G.N. :** 136 bis, rue de Grenelle — 75007 PARIS.
— **Laboratoire des Sciences de l'Image et de la Télédétection :** 7, rue de l'Université — 67000 STRASBOURG.
— **Centre de Météorologie Spatiale de LANNION** (et antenne ORSTOM) : BP 147 - 22302 LANNION — FRANCE — Editeur du Bulletin « Veille climatique satellitaire » (financé par la Coopération).
— **S.C.O.T.**, Société de Consultance en Observation de la Terre : 18, avenue Edouard Belin — 31055 TOULOUSE Cedex — FRANCE — Tél. : 61.27.32.78 — Télex : 531.081 F.
— **S.F.P.T., Société Française de Photogrammétrie et Télédétection :** 2, avenue Pasteur — 94160 SAINT MANDE — FRANCE — Publie un bulletin trimestriel.

CHAPITRE V

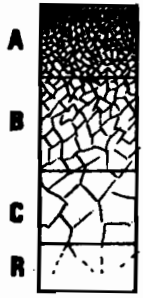
SOLS

I

DESCRIPTION D'UN PROFIL

Pour juger un sol, on procède à l'observation de son profil, qui est caractérisé par une succession de couches ou horizons dont la désignation a fait l'objet d'une nomenclature internationale :

1. NOMENCLATURE ET DÉSIGNATION INTERNATIONALE DES HORIZONS



(A) : horizon différent de la roche-mère par une simple désagrégation physique.

A : horizon de surface, contenant de la matière organique, souvent appauvri en colloïdes ou en fer par le lessivage.

(B) : B « structural » : degré d'altération plus élevé que celui de la roche mère sous-jacente. Structure plus compacte que celle de l'horizon A. Absence de matière organique.

B : B « textural » : différent de A par son enrichissement en colloïdes (argile) et en fer.

C : matériau originel plus ou moins altéré.

R : roche-mère.

G : gley de couleur gris verdâtre avec des taches rouille : au niveau supérieur de la nappe phréatique.

g : pseudo-gley, au niveau des nappes temporaires : taches grises sur fond ocre.

Ca : horizon enrichi en carbonates.

Subdivision des horizons A et B

Ao : horizon organique, superposé au sol minéral

A1 : mélange de matière organique et de matière minérale

A2 : horizon pauvre en matière organique, souvent lessivé en argile et en fer

A3 ou A/B : transition entre horizon éluvial et illuvial : début d'accumulation des colloïdes

B1 ou Bh : partie supérieure enrichie en humus (Podzol)

B2 ou Bfe : partie inférieure enrichie en argile et en hydroxydes.

Profondeur utile (GEPPA 1965) (1)

Epaisseur de la partie supérieure du sol constituée d'une succession d'horizons ou de couches jusqu'à un changement de nature tel qu'il corresponde à une opposition à la pénétration des racines.

2. DONNÉES INTÉRESSANT LA DESCRIPTION D'UN PROFIL

Données générales

— Numéro de profil.
— Localisation.
— Date.
— Observateur.
— Conditions atmosphériques.

Données concernant le profil

— Mission et n° de profil.
— Végétation ou culture : formation végétale, espèces dominantes, recouvrement du sol, restitution au sol.
— Roche mère : nature, cristallisation, pendage, mode d'altération, remaniement.
— Géomorphologie : forme du modelé, position dans le modelé, évolution.
— Altitude.
— Relief :
  — accidenté : pente > 25 %,
  — ondulé : 8 % $<$ pente < 25 %,

(1) Groupe d'Etude des Problèmes de Pédologie Appliquée.

  - largement ondulé, grandes surfaces planes : 8 % < pente < 25 %,
  - plan : pente < 8 %.
- Pente (classement USDA) (1)
  - nulle : 0 à 2 %,
  - faible : 2 à 6 %,
  - moyenne : 6 à 13 %,
  - assez forte : 13 à 25 %,
  - forte : 25 à 56 %,
  - très forte : > 56 %.
- Drainage (voir physique du sol) :
  - drainage externe,
  - perméabilité,
  - drainage interne, fonction de : texture, structure, stratification, nappe phréatique.
- Inondation.
- Présence de pierres (de diamètre supérieur à 15 ou 20 cm).
- Affleurements rocheux.
- Erosion : éolienne, hydrique par battement, en nappe ravinante, en rigoles, en ravins, par mouvements de nappe, par chenaux souterrains.

Limites des horizons :

- Netteté :
  - transition brutale : sur moins de 2,5 cm,
  - transition distincte : de 2,5 à 6 cm,
  - transition graduelle : de 6 à 12,5 cm,
  - transition diffuse : sur plus de 12,5 cm.
- Régularité

Régulière	Ondulée	Irrégulière	Interrompue
parallèle à surface	poches plus larges que profondes	poches plus profondes que larges	

(1) USDA : United States Department of Agriculture.

Données concernant les horizons :

— Epaisseur : en cm à partir de la surface.

— Couleur :

Détermination chiffrée par un Code (Munsell Soil Color Chart) (terme de couleur + notation Munsell), généralement sur échantillon sec ou alors préciser si le sol est sec ou humide.

Notation des contrastes : du % des taches par rapport à la surface observée et de la dimension du diamètre moyen des taches.

— Teneur en matière organique (peu, moyennement ou fortement humifère).
— Teneur en calcaire (effervescence ou non à l'acide).
— Texture : voir physique du sol ci-dessous.
— Structure : voir physique du sol p. 68.
— Porosité : voir physique du sol p. 69.
— Consistance : préciser si l'évaluation est faite : à sec, par sol humide ou par sol trempé.
— Cimentation.
— Enracinement.
— Formations spéciales.
— pH.

II

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES SOLS

Les propriétés physiques des sols dépendent naturellement des proportions relatives des éléments constituants, mais aussi de la façon dont ces éléments sont associés entre eux pour former des unités structurales.

On appelle **texture** la composition élémentaire d'un échantillon, défini par les proportions relatives des éléments constituants, groupés par classes de dimensions après avoir été individualisés. La **structure** est la disposition des assemblages des éléments constituants en agrégats ou en unités structurales. Ces 2 notions commandent la totalité des caractéristiques physiques des sols, entre autres la porosité et le comportement des sols vis-à-vis de l'air et de l'eau.

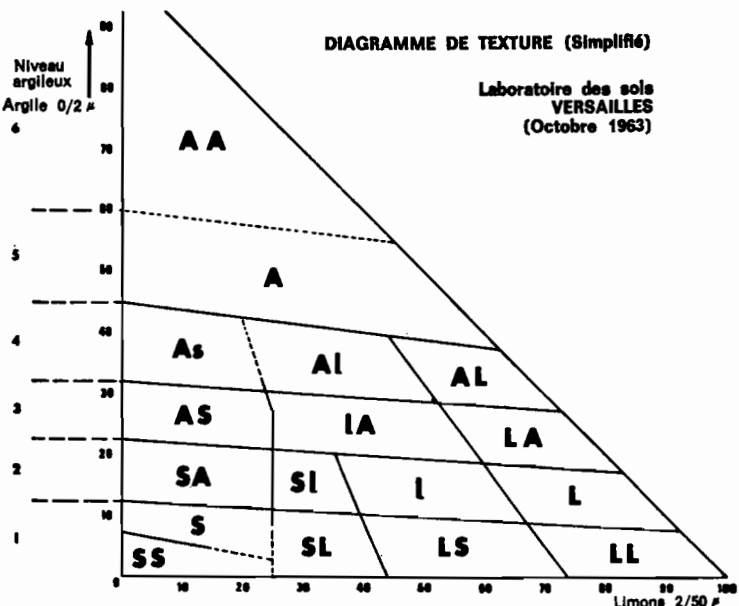
1. TEXTURE DES SOLS

Un échantillon de sol comporte généralement une certaine proportion de graviers et de cailloux, qui sont éliminés après tamisage à 2 mm. La totalité des analyses est effectuée sur la « terre fine » dont les éléments ont moins de 2 mm de diamètre. Les constituants minéraux de la terre fine sont groupés par classes de dimensions selon les limites suivantes :

— Argile	:	0	à	2 microns	
— Limon	:	2	à	20 —	ou limon fin
— Sable très fin	:	20	à	50 —	ou limon grossier
— Sable fin	:	50	à	200 —	
— Sable grossier	:	200	à	2 000 —	

Dans le système international il n'y a que 4 classes (0-2-20-200 2000 microns), les sables fins correspondent à 20-200 microns.

La plus ou moins grande proportion de l'une ou de l'autre de ces classes définira la texture de l'échantillon. Les classes de texture sont généralement données par des diagrammes triangulaires, divisés en zones de texture déterminée (ex. : diagramme de texture de l'INRA, Versailles).



La fraction argileuse est celle dont le rôle est considéré comme fondamental dans les propriétés texturales des sols. Elle comporte en effet les éléments les plus fins (0 à 2 µ), donc ceux qui ont la surface spécifique la plus importante. Les éléments qui la composent, appelés parfois colloïdes minéraux, ont des propriétés particulières dans les domaines de l'absorption des ions, de la fixation de l'humidité, de la plasticité et de la cohésion. Suivant que cette argile est à l'état floculé ou au contraire dispersé, les terres seront perméables ou non. Les propriétés de l'argile ne sont d'ailleurs pas constantes, et dépendent de sa constitution minéralogique : les argi-

INTERPRETATION DU DIAGRAMME DE LA PAGE PRECEDENTE

AA argile lourde									
A argile ou texture argileuse									
As texture argilo-sableuse lourde			**Al** texture argilo-limoneuse			**AL** argile-limoneuse			
AS texture argilo-sableuse			**IA** texture limono-argileuse			**LA** limon argileux			
SA texture sablo-argileuse	**SI** texture sablo-limoneuse			**I** texture limoneuse			**L** limon		
S texture sableuse	**SL** sable limoneux			**LS** limon sableux			**LL** limon pur (rare)		
SS sable									

les sont des composés à structure finement cristalline, en feuillets, dont les écartements sont caractéristiques de chaque type de minéral. Ce sont des silicates d'alumine plus ou moins hydratés, d'où leur appellation de « phyllosilicates ». Les minéraux argileux peuvent être groupés en classes, dont les plus connues sont :

— **la kaolinite,** pauvre en silice, à pouvoir de gonflement réduit et à faible capacité d'absorption des bases ;

— **la montmorillonite,** plus riche en silice, à écartement variable, donc susceptible de gonfler en présence d'eau, à fort pouvoir de fixation des cations et d'absorption d'eau ;

— **l'illite,** à propriétés proches de celles des micas, et dont les caractères sont intermédiaires entre kaolinite et montmorillonite ;

— **l'attapulgite minéral** à structure fibreuse.

Les sols riches en argile, donc à texture fine, sont souvent plastiques à l'état humide, et difficiles à travailler. Ils sont très durs à l'état sec. Les sols riches en sables sont meubles, mais manquent de cohésion. Aux teneurs très élevées en limon correspondent souvent des propriétés physiques très défavorables, surtout lorsque les sols sont pauvres en humus (sols battants).

2. STRUCTURES DES SOLS

Les éléments constituants du sol sont, dans la nature, plus ou moins intimement associés pour former des agrégats, dans la composition desquels entre également une partie de la matière organique. Ces agrégats peuvent eux-mêmes être associés en unités structurales de plus grande taille pour constituer la structure du sol.

La structure n'est pas une valeur constante : elle varie dans le temps, avec les saisons, en fonction de l'humidité, et sous l'effet de la culture. L'agent destructeur principal de la structure du sol est l'eau.

On peut distinguer des sols résistants à l'action de l'eau, dont les agrégats ne se délitent pas en milieu humide, ou au contraire sensibles à cette action : ces sols sont alors dits à structure « stable » ou « instable ».

Les structures des différents sols ont pu être classées en fonction de plusieurs critères : dimension des unités structurales, forme de ces unités, cohésion. On distingue généralement les types de structures suivantes :

— **Structure particulaire :** les éléments constituants ne sont pas associés entre eux, il n'y a pas cohésion (exemple : sable).

— **Structure massive ou continue :** l'ensemble du sol constitue un bloc. Exemple : structure type ciment, grès ou poudingue.

— **Structures fragmentaires :** ce sont les plus fréquentes : les particules sont reliées par un ciment et les ensembles se détachent assez facilement les uns des autres. On distingue:

  — les formes arrondies : **structure grenue ou nuciforme;**

  — les formes angulaires : **structure polyédrique, cubique, lamellaire ou prismatique;**

  — les formes intermédiaires : **structure grumeleuse.**

Les structures à formes arrondies assurent en général les meilleures conditions pour le développement des cultures (structures grenue, nuciforme, grumeleuse).

La formation des unités structurales dépend à la fois de la floculation des colloïdes et de la cimentation par les colloïdes des particules plus grossières.

La cimentation peut être le fait de ciments argileux, ou, surtout, de la matière organique. La structure est plus stable dans ce dernier cas, et d'autant plus que les acides humiques sont plus polymérisés. Les oxydes de fer et d'aluminium peuvent également agir sur la structure (floculation et cimentation).

La stabilité de la structure semble être une caractéristique essentielle de l'état physique des sols. Dans les horizons cultivés, elle est surtout fonction de la quantité et de la forme de la matière organique présente, et elle est souvent liée à l'activité biologique du sol. Elle est fonction également des différents cations fixés sur le complexe absorbant (Ca - Na).

La mise en culture entraîne une baisse de stabilité si elle ne s'accompagne pas de restitutions organiques. La jachère et la prairie correspondent à des stades de régénération de la stabilité. Les sols instables sont en général asphyxiants en période humide. Les sols dont le complexe absorbant est riche en sodium ont généralement une très mauvaise stabilité de structure.

« L'indice d'instabilité structurale » (1) traduit la plus ou moins grande sensibilité des sols à l'action de l'eau. Cet indice, qui augmente lorsque la stabilité de la structure diminue, peut varier entre des valeurs proches de 0 pour les sols très stables (0 à 0,5) pour des horizons superficiels de sols riches en matière organique, (rendzines par exemple) et des valeurs supérieures à 5 pour les sols à très mauvaise stabilité (sols à alcalis, par exemple, pour lesquels des chiffres supérieurs à 10 peuvent être obtenus). On peut combiner l'indice d'instabilité structurale de Hénin avec diverses caractéristiques physiques du sol (vitesse de filtration, teneur en eau utile) pour définir un indice de structure.

3. RELATION SOL-EAU (voir chapitre VIII Irrigation et drainage)

L'importance de la structure est fondamentale, puisqu'elle conditionne la porosité, donc l'aération du sol, la circulation de l'eau et l'intensité du lessivage.

La porosité du sol est le pourcentage du volume du sol non occupé par les substances solides. Elle est étroitement liée à la densité apparente du sol sec en place : cette densité est en moyenne de 1,45,

---

(1) Quantité argile + limons fins non agrégés (déterminée suivant un mode bien précis, rapportée à la fraction agrégée de dimensions supérieures à 200 μ amputée de 90 % des sables grossiers) :

$$S = \frac{(A + L) \text{ max. } \%}{\Sigma \text{ agrégats } \% - 0{,}9 \text{ sg } \%}$$

(sable grossier)

S varie de 0,1 à 100

log. 10 S varie de 0 à 3

ce qui correspond à une porosité de 45 %. La densité apparente peut atteindre 1,80 dans les sols très compacts (porosité = 32 %). La densité réelle (densité de la fraction solide du sol) varie généralement peu : elle est voisine de 2,65. Ces trois grandeurs sont liées par la relation :

$$\text{Porosité } \% = 100 \left[1 - \frac{\text{densité apparente}}{\text{densité réelle}} \right]$$

L'eau contenue dans le sol est retenue sur les particules avec une énergie d'autant plus grande que le sol est plus sec, ce qui explique que les plantes puissent se flétrir alors que le sol renferme encore des quantités d'eau non négligeables. Cette énergie de rétention de l'eau correspond au **« potentiel capillaire »** exprimé sous forme d'une pression en centimètres d'eau ou en atmosphères. On utilise normalement la notation pF, le pF étant le logarithme du potentiel capillaire exprimé en centimètre d'eau. Par exemple, la majorité des plantes flétrissent de façon irréversible lorsque l'eau du sol est retenue avec une énergie égale ou supérieure à 16 000 g/cm, c'est-à-dire à pF 4,2 (4,2 = log 16 000).

Suivant le degré de déssèchement du sol, l'eau correspond à des états différents, donc à des pF différents. L'eau hygroscopique absorbée par le sol aux dépens de l'humidité atmosphérique est énergiquement retenue et non disponible pour les plantes. Elle correspond à pF $\geqslant$ 4,7. L'eau capillaire absorbable, qui occupe les pores de 0,2 à 8 μ, correspond à un pF $<$ 4,2. L'eau de gravité est celle qui remplit momentanément les plus gros pores du sol après les pluies, mais qui draine en profondeur plus ou moins rapidement au cours du ressuyage. La **teneur en eau au ressuyage** (ou capacité au champ) correspond, selon les sols, à un pF compris entre 1,8 et 3 (voir graphique ch. VIII).

L'eau utilisable est la capacité maximale de stockage par le sol d'eau utilisable par les végétaux. Elle est estimée par la différence entre les volumes d'eau correspondant à la capacité au champ et au point de flétrissement pour la profondeur utile du sol considéré.

La capacité de rétention, ou humidité équivalente, est la teneur en eau du sol correspondant sensiblement à pF 2,8 (2,5 à 3,0 selon les auteurs) : elle est souvent utilisée comme mesure de laboratoire pour apprécier la capacité au champ.

La capacité au champ est généralement faible dans les sols très pauvres en argile (3 à 5 % pour des sols à 85-90 % de sables). Elle augmente avec le taux d'éléments fins (25 à 30 % pour les sols contenant 40 à 50 % d'éléments compris entre 0 et 20 μ). Elle est d'autant plus élevée que les sols contiennent plus de matière organique. Il semble également qu'elle augmente avec la stabilité de la structure du sol.

L'eau apportée sur le sol s'infiltre d'autant plus vite que la porosité non capillaire est élevée. La vitesse de filtration, ou **perméa-**

bilité du sol, dépend essentiellement de la structure de ce sol. Elle est bonne (de l'ordre de 2 à 10 cm/heure) lorsque la structure est stable, et faible (moins de 2 cm/heure) ou nulle dans les sols instables. Dans ce dernier cas, le sol se sature totalement : c'est le phénomène de l'engorgement.

La vitesse de filtration de l'eau dans le sol peut être grossièrement évaluée sur le terrain par diverses méthodes : méthode Müntz (infiltration sous charge constante de l'eau apportée dans un cylindre métallique enfoncé dans le sol), méthode de Porchet (infiltration en fonction du temps et sous charge décroissante de l'eau apportée dans un trou de tarière). Ces méthodes sont peu précises et ne donnent que des ordres de grandeur de la perméabilité du sol.

La distribution en profondeur des taux d'humidité du sol détermine le **profil hydrique**. L'évolution dans le temps du profil hydrique renseigne sur les quantités d'eau utilisées par les végétaux, ou sur l'absorption des précipitations ou de l'eau d'irrigation. Le calcul de la quantité d'eau à apporter pour amener une épaisseur donnée en centimètre de sol à la capacité au champ peut être fait de la façon suivante : soit H_1 le taux d'humidité du sol avant l'irrigation, H_2 la capacité au champ, et d_a la densité apparente du sol. La hauteur d'eau à apporter sera :

$$Q \text{ mm} = \frac{e \times d_a}{10} \times (H_2 - H_1)$$

Un calcul analogue permet d'apprécier la quantité d'eau disparue du sol entre deux irrigations consécutives.

Pour les applications aux problèmes d'irrigation, se reporter au chapitre VIII : Irrigation et drainage.

III

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DES SOLS

1. HUMUS ET ACIDES HUMIQUES

Les débris végétaux et animaux qui tombent sur le sol constituent la source essentielle de la matière organique qui, peu à peu transformée, donne naissance par minéralisation à des éléments solubles ou gazeux, assimilables et, par humification, à des complexes colloïdaux humiques.

Ces derniers se minéralisent lentement pour nourrir les plantes installées sur le sol et boucler ainsi le cycle biologique de l'azote et du carbone, qui peut être plus ou moins rapide, discontinu ou non.

Les humus sont caractérisés par divers paramètres :

— Le taux de saturation et le pH renseignent sur la richesse relative en cations métalliques et ions H^+ échangeables.

— Le taux d'humification (pourcentage de matière organique transformée en humus colloïdal chaque année).

— Le rapport $\frac{N \text{ minéral}}{N \text{ total}}$ permet de suivre l'évolution de l'activité biologique de l'humus.

— Le rapport $\frac{C}{N}$ renseigne sur la richesse de l'humus en azote, il varie suivant l'horizon du sol étudié et suivant les sols :

— à $\frac{C}{N}$ élevé (15 à 25) correspond une matière organique mal décomposée.

— à $\frac{C}{N}$ voisin de 10 (8 à 12) correspond une matière organique bien décomposée.

— en dessous de 10, le rapport $\frac{C}{N}$ indique des sols minéralisés, à faible réserve de matière organique.

L'évolution de l'humus est influencée par le climat et la roche mère. Température et humidité favorisent la production de matière végétale et la minéralisation de l'humus :

— à basse température l'activité des micro-organismes est réduite, l'humus s'accumule (sous une forme peu transformée).

— aux températures élevées d'Afrique (25° C en moyenne), la décomposition de la matière organique est accélérée, l'humus évolue, se minéralise plus rapidement que dans les pays tempérés.

On distingue (suivant Tiurin) différents constituants de l'humus :

— **Acides fulviques libres,** F_1 responsables de la dégradation des argiles et du lessivage du fer.

— **Acides fulviques liés aux acides humiques** F_2 moins acides, peu d'action néfaste.

— **Acides humiques libres ou acides humiques bruns** H_1, forme très mobile, donnent des composés peu stables avec l'argile. Pauvres en azote, floculent lentement par Ca.

— **Acides humiques gris** H_2 et H_3 forment un complexe argilo-humique stable :

— H_2 : liés à l'argile par Ca^{++}, très polymérisés, très adsorbés.

— H_3 : liés à l'argile par les sesquioxydes de Fe^{+++} et d'Al^{+++}, très polymérisés.

2. COMPLEXE ABSORBANT

Les colloïdes électronégatifs du sol (composés humiques et argiles) retiennent autour de leur molécule des cations H^+ Ca^{++} Mg^{++} K^+ Na^+ et en quantité plus faible NH^+_4, Mn^{++}, Cu^{++} Zn^{++}, Al^{+++}.

Ces cations sont dits échangeables car ils peuvent faire l'objet de substitution avec les cations de la solution du sol en fonction de l'énergie d'absorption de chaque ion, dans l'ordre : H, Ca, Mg, K, Na et de la concentration des ions dans la solution du sol.

L'état du complexe absorbant est défini par un certain nombre de valeurs chimiques : capacité d'échange, somme des cations échangeables, taux de saturation, bases totales, acidité potentielle, acidité électronique, acidité actuelle.

2.1. Capacité d'échange (T).

C'est la quantité maximum de cations métalliques pouvant être fixée par le sol. Elle est donnée en milliéquivalents pour 100 g de sol (me/100).

Définition du me/100 : C'est le rapport de la quantité d'un élément (exprimée en milligramme) à l'équivalent-gramme de cet élément.

2.2. Somme des cations échangeables.

C'est la quantité totale de cations actuellement retenus : elle est également exprimée en me/100.

Evaluation de S : Cf. p. 79.

Sols ferrallitiques : S $\neq\neq$ 1 me/100.

Terres volcaniques peu évoluées : S $\neq\neq$ 20 à 30 me/100.

PRINCIPAUX ÉQUIVALENTS-GRAMME UTILISÉS DANS L'ÉTUDE DES SOLS

(Poids moléculaire divisé par valence)

Na^+	: 23	NaHO	: 31	CO_3Na_2	: 53	CO_3NaH	: 84
K^+	: 39	K_2O	: 47	CO_3K_2	: 69	CO_3KH	: 100
Ca^{++}	: 20	CaO	: 28	CO_3Ca	: 50	$(CO_3)_2CaH_2$	: 81
Mg^{++}	: 12	MgO	: 20	CO_3Mg	: 42		
Cl^-	: 35,5	Br	: 80	SO_4Na_2	: 71	$(CO_3)_2MgH_2$	: 73
SO_4^{--}	: 48	SO_3	: 40	SO_4K_2	: 87		
CO_3^{--}	: 30	CO_2	: 22	SO_4Ca	: 68	NaCl	: 58,5
						KCl	: 74,5
CO_3H^-	: 61	NO_3	: 62	SO_4Mg	: 60	$CaCl_2$	: 55,5
S	: 16	SO_2	: 32	$SO_4Fe, 7H_2O$	: 139	$MgCl_2$	: 47,5
				SO_4H_2	: 44,5		

ÉVALUATION DE T : Cf. chap. IV

T varie avec les colloïdes du sol

Ordre de grandeur de T		
	Limites me/100	Moyenne me/100
Acide humique		370
Humus		260
Vermiculite	65 à 145	140
Montmorillonite	60 à 150	80-120
Illite	20 à 40	30
Kaolinite	3 à 15	6-8

2.3. Taux de saturation (V).

Pourcentage de la quantité de cations effectivement fixés, rapportée à la quantité que le sol pourrait fixer et posséder :

$$V = \frac{S \times 100}{T}$$

Evaluation de V : Cf. p. 80.

2.4. Acidité potentielle (T.S.) ou acidité d'échange.

Mesurée par titration, elle correspond à la quantité de cations métalliques nécessaires pour saturer le complexe absorbant, donc pour remplacer la totalité des ions H^+ échangeables. Elle est liée au pouvoir-tampon du sol.

2.5. Acidité actuelle (pH).

L'acidité actuelle indique la concentration en ions H^+ actuellement dissociés dans la solution du sol : elle est exprimée par le cologarithme de la concentration des ions H^+ à l'état libre dans les solutions du sol. Le pH varie de 0 à 14. Neutralité 7.

Evaluation du pH : Cf. p. 80.

2.6. Potentiel d'oxydoréduction (rH_2).

Le niveau d'oxydation et de réduction des composés du sol est donné par le potentiel d'oxydoréduction, valeur du cologarithme de la pression de l'hydrogène moléculaire du sol. En pratique on évalue le rH_2 sur la solution du sol.

Evaluation du rH_2.

Les valeurs de rH_2 se situent entre 0 (réduction la plus forte) et 40 (pression de l'hydrogène très faible), la valeur 27 correspond à l'équilibre.

Les mesures du rH_2 ont surtout été utilisées pour les sols hydromorphes : le pseudogley correspond à un rH_2 de 25 environ. Le gley : de 20 et moins.

— $rH_2 = 20$ à 25 : sol légèrement réducteur.

— au-dessous de 20 : sol très réducteur, asphyxiant.

La notion de rH_2, est surtout utile en riziculture car les sols de rizières peuvent atteindre des niveaux de rH_2 incompatibles avec une bonne croissance de la plante.

2.7. Bases totales agronomiques.

Elles chiffrent les quantités d'éléments fertilisants ou engrais (calcium, magnésium, potassium, sodium) en réserve dans le sol et dont la plante ne peut pas disposer immédiatement.

Bases totales agronomiques = bases échangeables + réserves.

Par exemple : 100 grammes de mica blanc renferment 4 grammes de potassium pur. C'est une teneur très forte, mais le potassium est très fortement combiné à l'intérieur de la molécule de mica et si difficilement libéré qu'il est pratiquement inutilisable pour la végétation. On dit qu'il s'agit de **potassium de réserve,** car s'il est vrai que ce potassium est inutilisable pour les plantes, il n'est pas moins vrai que le mica blanc se détruit très lentement et, avec le temps, se transforme en minéraux argileux où le potassium apparaît sous une forme assimilable.

IV

PRINCIPALES ANALYSES DES SOLS

L'examen pédologique est accompagné en général de prélèvements d'échantillons pour analyse. Nous indiquons ci-dessous les principales analyses pratiquées entre autres, dans les laboratoires ORSTOM, avec le poids de l'échantillon nécessaire (d'après Duchaufour).

Analyse granulométrique :

— Pipette de Robinson (10 g);

— Méthode internationale;

— Méthode densimétrique (Mériaux) 30 g.

Porosité :

— Mesure des densités apparentes par :

- cylindre - remplissage du cylindre par pénétration, sur le sol en place, à la profondeur voulue, en évitant de détruire la structure ; dessiccation en étuve au laboratoire.
- densitomètre à membrane (terrain).

— Porosité sur motte (méthode de Rennie modifiée).

Humidité équivalente :

— Méthode à la presse à plaque de porcelaine poreuse (1 kg de pression).

— Méthode par centrifugation (plus guère utilisée).

Point de flétrissement :

— Méthode de la presse à membrane (16 kg de pression).

Perméabilité :

— Sur le terrain : méthodes de Muntz, de Porchet, de Burger;

— En laboratoire : méthodes de Henin, de Vergière.

pH :

— Méthode colorimétrique;

— Méthode potentiométrique.

Dosage du carbone organique :

— Méthode Anne ou Walkley et Black (0,25 à 0,5 g);

— Matière organique : C × 1,724.

Dosage de l'azote total :

— Méthode Kjeldahl (0,5 à 2 g);

— Méthode rapide d'Anstett (0, 25 à 2 g) (donne une bonne idée du taux de matière organique du sol).

Dosage des acides humiques :

— Méthode au Pyrophosphate de Sodium ou méthode Henin (fractionnement par densités).

Fractionnement des composés humiques :

— Méthode Tiurin à la soude (3 g) ou méthode par électrophorèse (Duchaufour).

Détermination de la capacité d'échange (T) et des cations échangeables (S) par la méthode au cobaltihexammine, plus sensible et moins pertubatrice de l'état du sol.

Dosage des cations métalliques échangeables (S) :

— Extraction à l'acétate d'ammonium 1 N ;

— Séparation des cations
par : complexométrie et/ou absorption atomique,

par : photométrie de flamme.

— La méthode au chlorure de cobaltihexammine qui permet sur le même cation la détermination des éléments échangeables (Ca, Mg, K, Na, Al et H) et de la CEC au pH du sol.

Dosage du calcaire total :

— Calcimètre Bernard (1 à 10 g).

Dosage du calcaire actif :

— Méthode Drouineau (10 g).

Dosage du fer libre :

— Méthode Deb modifiée (1 g).

Dosage de l'alumine échangeable :

— Méthode ENEF d'après Jackson (20 g).
— Méthode Espiau (P.) et Peyronel (A.) 1976.

Dosage de l'azote ammoniacal et nitrique :

— Méthode Drouineau et Gouny (25 g).

Dosage du phosphore total :

— Attaque triacide ou perchlorique donnant une solution plus claire et facilitant la colorimétrie.

Dosage du phosphore assimilable :

— Dosage du phosphore soluble des engrais;
— Dyer (terres non calcaires) (acide citrique 2 %);
— Truog (acide sulfurique dilué);
— La méthode OLSEN (bicarbonate de sodium) ou modifiée par DABIN (plus fluorure d'ammonium) donne les résultats les mieux corrélés avec la nutrition des plantes.

Dosage du phosphore et de la potasse assimilables :

— Méthode rapide Barbier-Morgan : résultats en ‰ de liquide d'extraction et non de terre.

Analyse minéralogique sommaire :

— Méthode de Tamm et Leenher, modifiée par Duchaufour.

Pour les sols salés :

— Obtention de l'extrait de pâte saturée;
— Mesure de la conductivité à 25°;
— Mesure du bilan ionique.

Il existe de nombreuses méthodes d'analyse pour les éléments. Les résultats doivent toujours porter l'indication de la méthode utilisée. Les analyses effectuées sur des sols identiques, dans une zone donnée, devront toujours l'être selon les mêmes méthodes, afin que les résultats restent comparables.

V

INTERPRÉTATION DES ANALYSES DE SOLS

1. GÉNÉRALITÉS

L'interprétation des résultats analytiques nécessite une synthèse des divers facteurs observés tenant compte en particulier du **type de sol** (observation du profil — analyse physique, analyse chimique) ainsi que du **type de culture** envisagé (susceptible de modifier la couverture ou la structure du sol) et des données **topographiques et géomorphologiques** locales.

Il convient de souligner aussi l'importance des **méthodes employées pour les dosages.** Voici par exemple un tableau comparatif des résultats d'analyse de P_2O_5 et K_2O suivant deux procédés :

	Méthodes classiques ‰	Indice Morgan Barbier mg/l
P_2O_5 assimilable :		
- terres pauvres	0,12	5
- terres moyennes	0,12 à 0,30	5 à 8
- terres riches	0,30	8
K_2O échangeable :		
- terres pauvres	0,15	30
- terres moyennes	0,15 à 0,30	30 à 50
- terres riches	0,30	50

Aussi le travail d'interprétation doit-il être réservé au spécialiste qui a une longue expérience du problème à résoudre.

De son côté, le praticien aura avantage à effectuer des observations au champ sur le comportement de cultures déterminées (vitesse de croissance, production en quantité et en qualité) et à les comparer avec les résultats des analyses du sol et éventuellement des analyses foliaires.

On pourra ainsi obtenir une série d'évaluations multi-locales des teneurs critiques en éléments assimilables du sol.

Aussi les critères d'appréciation que nous donnons ci-après doivent-ils être considérés comme des indications générales sujettes à révision suivant les données locales.

Il convient d'ailleurs de distinguer :

— la notion de richesse d'un sol en tel ou tel élément, valeur définie par l'analyse ;

— la notion de fertilité, aptitude du sol à telle ou telle production, valeur beaucoup plus complexe à définir.

2. NORMES D'INTERPRÉTATION DE RICHESSE D'UN SOL D'APRÈS LES ANALYSES CHIMIQUES (d'après Riquier, Madagascar en % de la terre tamisée à 2 mm)

Bases échangeables (acétate de NH_4) (1)	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
— CaO	0,30	0,30 à 0,65	0,65 à 1	1 à 2	2
— MgO	0,08	0,08 à 0,20	0,20 à 0,30	0,30 à 0,60	0,60
— K_2O	0,05	0,05 à 0,10	0,10 à 0,20	0,20 à 0,40	0,40

(1) L'interprétation du taux de bases échangeables ne peut se faire qu'en fonction de la nature du complexe absorbant : décalage d'une colonne vers la gauche pour les sols sableux.

Bases totales (acide nitrique)	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
— CaO	1	1 à 2	2 à 3	3 à 5	5
— MgO (1) ..	0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	1,5 à 2,5	2,5
— K_2O	0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	1,5 à 2,3	2,3

(1) Mg total et réserves, valeur plus forte pour les sols volcaniques.

Equilibres entre cations échangeables (Ca, Mg, K) et azote et phosphore dans le sol.

	Insuffisant	Normal à optimum	Trop fort
$\frac{\text{Ca me/100 g}}{\text{Mg me/100 g}}$	< 1	1 à 25	> 40 *
$\frac{\text{Mg me/100 g}}{\text{K me/100 g}}$	< 2	2 à 20	> 25
$\frac{\text{Ca + Mg me/100 g}}{\text{K me/100 g}}$	< 15 *	15 à 40	> 40-50
$\frac{\text{N total ‰}}{P_2O_5 \text{ total ‰}}$	< 2	2 à 4	> 4
$\frac{\text{N total ‰}}{P_2O_5 \text{ total ‰}}$	< 10	10 à 20	> 20
$\frac{\text{N total ‰}}{\text{S total ‰}}$	—	6 à 12	—

* Ces chiffres ne sont que des ordres de grandeur. Ils peuvent varier en fonction de la richesse du sol en éléments échangeables ou assimilables, de sa composition granulométrique et parfois aussi de la nature de la plante (c'est ainsi que les légumineuses ou les citrus s'accommodent fort bien de rapport Ca/Mg élevés — de l'ordre de 10 à 40 —, tandis que les plantes acidophiles les tolèrent mal et s'accommodent mieux de rapports allant de 0,8 à 4 ou 5).

	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Somme des bases (S) me/100 g (bases échangeables additionnées)	2	2 à 5	5 à 10	10 à 15	15
Capacité d'échange (T) me/100 g (acétate de NH_4 et distillation)	5	5 à 10	10 à 25	25 à 40	40
Saturation du complexe échangeable (V) %	15	15 à 40	40 à 60	60 à 90	90 à 100

	Très mauvais	Mauvais	Médiocre	Bon	Très bon
Porosité totale du sol %	35	35 à 40	40 à 45	45 à 50	50 à 53
pH (électrode de verre)	< 4,5 : extrêmement acide 4,6 à 5 : très fortement acide 5,1 à 5,5 : fortement acide 5,6 à 6 : moyennement acide 6,1 à 6,5 : faiblement acide 6,6 à 7,3 : neutre 7,4 à 7,8 : légèrement alcalin 7,9 à 8,4 : moyennement alcalin 8,5 à 9 : fortement alcalin > 9,1 : très fortement alcalin				

	Sols ferrallitiques		Non ferrallitiques	Présence probable de montmorillonite
	à gibbsite	à kaolinite		
Rapport $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	0 à 2	2	2 à 3	3 à 5

Calcul des analyses :

CaO ‰ × 3.56	= CaO me/100 g
MgO ‰ × 4,96	= MgO me/100 g
K_2O ‰ × 2,12	= K_2O me/100 g
Na_2O ‰ × 3,22	= Na_2O me/100 g
Mn ‰ × 3,64	= me/100 g
CO_3H ‰	= me/100 g × 0,61
SO_4 ‰	= me/100 g × 0,48
Cl ‰	= me/100 g × 0,35
Matières organiques	= C × 1,72

$$\frac{SiO_2\ \%}{Al_2O_3\ \%} \times 1{,}7 = \frac{SiO_2\ \text{mol}}{Al_2O_3\ \text{mol}}$$

3. PRINCIPES D'ESTIMATION DE LA FERTILITÉ

La fertilité croît toujours dans certaines limites avec le taux de matière organique et d'azote total pour un rapport C/N variant de 7 à 13.

La matière organique améliore en effet les propriétés physiques et aussi les caractères chimiques d'un sol donné : (teneur en bases et en acide phosphorique utilisables en particulier), elle fournit, d'autre part, l'azote nécessaire aux cultures.

Pour les sols présentant des teneurs en argile plus limon de l'ordre de 15 à 50 % on constate des niveaux de fertilité liés aux intervalles suivants de richesse en N et en matière organique, pour un pH donné :

N ‰	Matière organique %
0,1 — 0,25	0,17 — 0,43
0,25 — 0,45	0,43 — 0,76
0,45 — 0,80	0,76 — 1,35
0,80 — 1,50	1,35 — 2,55
1,55 — 3	2,55 — 5,1
3 — 6	5,1 — 10,1

Pour une teneur donnée en matière organique et azote, et avec un drainage correct surtout en culture irriguée, la **fertilité sera d'autant plus grande que le pH sera plus élevé entre pH 4 et pH 7,5.**

Au-delà, cette règle dépend des cultures envisagées que l'on peut classer en deux catégories :

— celles qui préfèrent les sols neutres, et réagissent favorablement aux amendements calcaires,

— celles qui préfèrent les sols légèrement acides.

Le pH ne doit être considéré que comme une indication, correspondant à un facteur limitant pouvant éventuellement être corrigé par des caractéristiques physiques favorables.

L'interprétation des analyses en ce qui concerne l'acide phosphorique a donné lieu à de longues recherches.

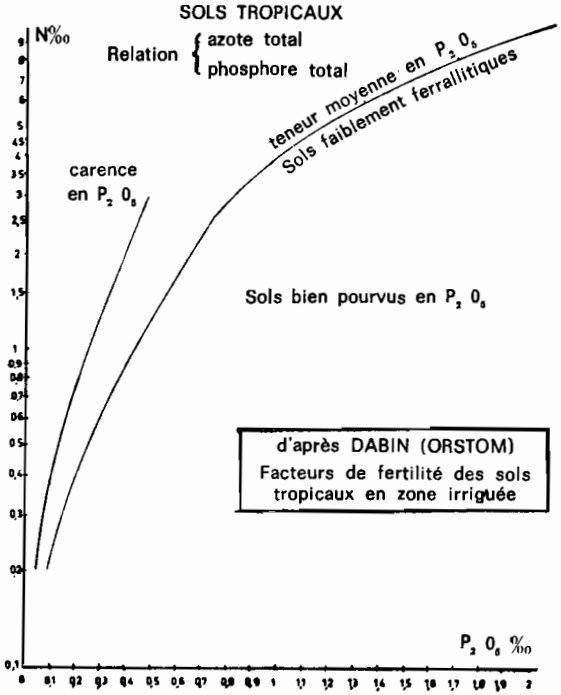
Il semble que les besoins des sols en P_2O_5 dépendent beaucoup de leur teneur en azote. Plus le sol est riche en azote, plus il a besoin

de P_2O_5. (D'autre part il faut tenir compte de la fixation du phosphore sous forme organique.)

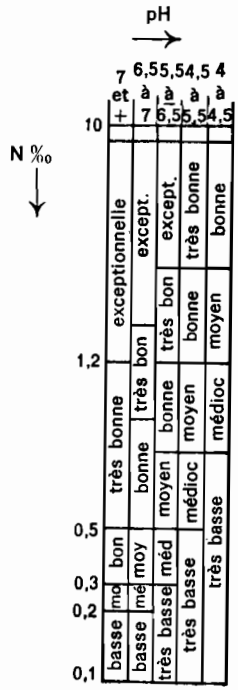
Le graphique ci-après, établi à la suite de nombreuses expériences de l'ORSTOM, permet de déterminer dans une première phase si le sol présente ou non un bon équilibre N/P. Dans une deuxième phase, il permet d'évaluer son aptitude à la culture, compte tenu du pH. (N est l'azote Kjeldahl, P_2O_5 le phosphore total nitrique).

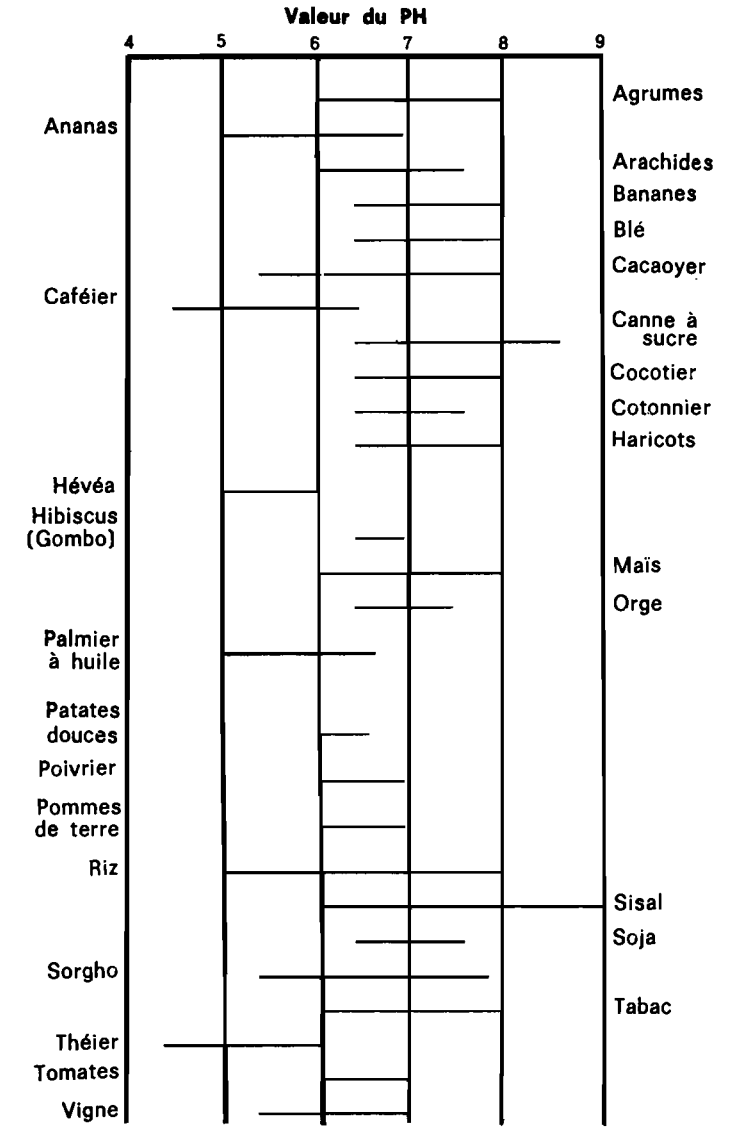
Les analyses de bases échangeables obtenues par extraction à l'acétate d'ammoniaque normal donnent une indication intéressante à condition de les rapprocher de la richesse du sol en complexe absorbant et de la nature de ce dernier.

Pour une valeur donnée de ce complexe, **la fertilité croit généralement avec la somme des bases échangeables et avec le taux de saturation**, évalué approximativement par le pH.



Echelle de fertilité en fonction du pH et de l'azote total




CULTURE DE SOLS ACIDES
CULTURES DE SOLS ALCALINS
Valeur du PH
4
5
6
7
8
9
Ananas
Caféier
Hévéa
Hibiscus (Gombo)
Palmier à huile
Patates douces
Poivrier
Pommes de terre
Riz
Sorgho
Théier
Tomates
Vigne
Agrumes
Arachides
Bananes
Blé
Cacaoyer
Canne à sucre
Cocotier
Cotonnier
Haricots
Maïs
Orge
Sisal
Soja
Tabac

Par ailleurs, la texture du sol joue : pour une même teneur en bases, un sol sableux peut fournir dans l'immédiat un rendement plus élevé qu'un sol argileux. Mais ce dernier sera quand même préférable du fait de sa plus grande réserve en bases.

Pour un sol de 20 à 30 % d'argile plus limon, à capacité d'échange moyenne et à 2 % de matière organique, on peut adopter les normes suivantes pour la richesse en bases en zones tropicales sèches à semi-humides (d'après Dabin).

S en me pour 100 g	Réserves
< 1,5	Faibles
1,5- 3	Médiocres
3- 6	Moyennes
6-12	Bonnes
12 -24	Très bonnes
> 24	Exceptionnelles

Pour le potassium, une échelle moyenne de richesse peut être :

< 0,1 me pour 100 g	Mauvais
0,1-0,2	Médiocre
0,2-0,4	Moyen
> 0,4	Bon

Pour les sols sableux, très humifères ou montmorilloniques, il faudra tenir compte de la valeur du pH et de la capacité d'échange.

Enfin pour chaque élément, en particulier K et Mg, il faut tenir compte du rapport des cations échangeables; les rapports $\frac{Mg}{K}$ $\frac{Ca + Mg}{K}$, etc., doivent être pris en considération pour déterminer les besoins en Mg ou K. Un rapport moyen Ca-Mg-K peut être du type 20-10-1.

4. SEUILS DE CARENCE ET DE DÉFICIENCE

On appelle seuil de carence pour un élément chimique du sol une teneur dans le sol telle qu'en dessous la plante cultivée ne produit plus que des récoltes insignifiantes et, en outre, présente souvent des accidents végétatifs (par exemple la maladie bronzée des frondes d'*Elaeis guineensis* qui se développe en cas de carence du sol en magnésium).

Lorsqu'on ajoute progressivement au sol cet élément (par un engrais ou un amendement), les troubles physiologiques disparaissent, les rendements progressent jusqu'à un certain niveau de cet élément dans le sol ; au-delà de ce niveau une adjonction supplémentaire d'engrais se révèle inutile, les récoltes ne s'accroissant plus. Ce deuxième niveau est appelé seuil de déficience, c'est en fait un seuil de non-réponse aux engrais.

Pour le calcium échangeable, il est assez difficile de définir ces deux seuils, les plantes ayant en général des besoins très faibles en calcium. Toutefois le calcium conditionnant au premier chef d'impor-

tantes propriétés du sol (saturation du complexe absorbant, pH, élimination des toxités aluminiques et manganiques) on considère en première approximation qu'au-dessous de 0,5 me/100 g de Ca échangeable la réussite de la plupart des cultures est aléatoire, tandis qu'un niveau convenable se situe à partir de 2-3 me/100 g Ca échangeable. Pour l'arachide on a pu situer un seuil de déficience 1 me/100 g Ca éch. dans les sables d'Israël, 1,5 me/100 g dans les sols sablo-argileux de Casamance, 2 me/100 g dans les terres argileuses de la vallée du Niari et aussi aux États-Unis.

Pour le magnésium échangeable. Le seuil de carence s'échelonne de 0,10 à 0,17 me/100 g et le seuil de déficience de 0,25 à 0,35 me/100 g. Cette variabilité paraît souvent fonction des teneurs du sol en argile et limon, un sol riche en éléments fins étant plus exigeant qu'un sol sableux.

Pour le potassium échangeable. On a l'habitude de fixer le seuil de carence à 0,09-0,10 me/100 g. Ce chiffre est surtout valable pour les terres « franches ». En sol très sableux il paraît descendre jusqu'à 0,05-0,06 me/100 g tandis qu'en sol très argileux (60 % et plus d'argile granulométrique) il paraît préférable de le situer vers 0,20 me/100 g.

Quant au seuil de déficience, il varie de 0,15 me/100 g à 0,35 me/100 g de sol en fonction du type de sol, de la plante cultivée, ... et aussi du volume de récolte que l'on exige de la culture.

Pour le phosphore, la définition des seuils se heurte à deux types de difficultés : d'une part la multiplicité des formes du phosphore dont l'assimilabilité immédiate par les plantes est très variable et le pouvoir de fixation du sol pour le phosphore introduisent une difficulté analytique considérable dans la définition d'un phosphore dit assimilable. Les méthodes les plus utilisées étant celles de Bray, de la North Carolina University et d'Olsen modifiée à Bondy. On emploie aussi le phosphore assimilable seul ou concurremment avec le phosphore total ; d'autre part il est souvent bon de tenir compte de l'équilibre phosphore-azote qui conditionne en partie la fertilité du sol. D'où un certain nombre des valeurs de seuils qui dépendent nettement de la méthode d'analyse.

Phosphore total. On distingue, un seuil de carence situé entre 5 et 200 ppm de P_2O_5 et un seuil de déficience échelonné entre 200 et 600 ppm. Ces échelonnements sont fonction du type de culture et du pouvoir fixateur du sol.

Phosphore assimilable Bray II. On situe assez souvent le seuil de déficience vers 30 ppm de P_2O_5.

Phosphore assimilable North Carolina. Cette méthode, très utilisée en Amérique du Sud, paraît surtout valable dans les sols peu acides (pH 5,5 à 7). Le seuil de déficience pour le phosphore se situerait à 28 ppm de P_2O_5.

Phosphore assimilable Olsen modifié Bondy. On tient compte ici de la teneur du sol en azote et du pouvoir fixateur du sol pour le phosphore.

Teneur en N total	Pouvoir fixateur pour P	Seuil de déficience P_2O_5 ppm
Sols pauvres en N (de l'ordre 0,2-0,4 % de N total) p. ex. sols à arachide du Sénégal	Faible	20 à 25 ppm
Sols bien fournis en N (de l'ordre de 1 % et plus de N total) p. ex. sols ferrallitiques	Faible à moyen	50 à 100 ppm
Sols bien fournis en N (de l'ordre de 1 % et plus de N total) p. ex. sols ferrallitiques	Fort	100 à 200 ppm

Pour l'azote. Les formes d'azote assimilables immédiatement ou à très court terme (azote nitrique et azote ammoniacal) n'existent dans le sol qu'en très petites quantités et sont en outre sensibles aux pertes.

La source la plus régulière d'azote provient de l'oxydation (minéralisation) des matières organiques, soit fraîches soit déjà transformées par humification, présentes dans le sol.

La régularité et l'intensité de cette minéralisation dépend étroitement de l'activité des bactéries ammonifiantes et nitrifiantes, activité elle-même fonction du pH.

5. TOXICITÉS DUES À L'ALUMINIUM ET AU MANGANÈSE

Dans les sols acides (pH 5,5 et surtout pH 5), il se produit assez souvent des accidents de toxicités dus à l'aluminium échangeable et au manganèse.

L'aluminium échangeable peut être analysé par les laboratoires de chimie sans difficultés majeures. On prendra en considération non ses teneurs absolues, mais ses valeurs relatives :

$$r = \frac{Al^{+++}}{SBE} \times 100 \quad \text{ou mieux} \quad m = \frac{Al \times 100}{Al + SBE}$$

une valeur m inférieure à 10 permet la culture des plantes sensibles, m de 10 à 40 ou 50 la plupart des cultures, m au-dessus de 50 uniquement des plantes plus résistantes.

Voici quelques valeurs limites :

Tabac $m < 5$.

Luzerne, cacaoyer, cotonnier, blés (américain et européen), caféier $m < 10$.

Soja, arachide, canne à sucre, haricots $m < 20$-25.

Maïs, riz $m < 35$-40.

Par contre, théier, hévéa, palmier à huile, manioc, ananas supportent facilement $m > 50$, parfois au détriment des rendements (manioc, palmier à huile).

Le manganèse actif est plus difficile à déterminer dans le sol avec sûreté, les méthodes étant souvent délicates à mettre en œuvre (on additionne en général le manganèse échangeable et le manganèse faci-

lement réductible). Parmi les plantes les plus sensibles, on peut citer : tabac, pomme de terre, cotonnier, haricot, sisal.

Pour réduire ces toxicités, on utilise parfois des phosphates naturels (qui apportent des quantités importantes de calcium) et la matière organique (qui à la propriété de complexer Al et Mn), mais surtout calcaire et dolomie pour relever le pH. Dès que ce dernier atteint 5,5, ces toxicités disparaissent brutalement.

Le pH KCL/N (rapport sol/solution KCL/N = 1/2,5) est un meilleur indicateur de l'acidité du sol que le pH eau dans le meme rapport (plus sensible aux variations locales et saisonnières). L'analyse du complexe absorbant par le chlorure de cobaltihexammine permet, sur le même extrait, les déterminations du niveau de toxicité aluminique.

VI

LES SOLS SODIQUES (ou HALOMORPHES)

DÉFINITION

Sols dont l'évolution est dominée :

— soit par l'existence de teneurs notables en sels solubles;

— soit par une fixation abondante de sodium sur le complexe absorbant.

Les sols renfermant des teneurs notables en sels solubles présentent une structure non modifiée et le sodium n'est pas fixé sur le complexe de façon importante. Lorsque les teneurs en sels solubles (sulfates, chlorures) sont importantes, ces sols sont colonisés par une végétation spécifique dite halophyte.

La conductivité de l'extrait de pâte saturée est supérieure à 4 mmhos/cm à 25 °C.

Dans la classification française, ces sols sont regroupés dans la sous-classe des sols halomorphes à structure non dégradée - groupe des sols salins.

Les sols caractérisés par une fixation abondante de sodium sur le complexe absorbant présentent des structures massives ou en colonnettes. L'utilisation de ces sols implique l'application de techniques culturales coûteuses (sous-solage, mobilisation du sodium par traitement avec du sulfate de calcium ou du chlorure de calcium, etc.).

Le pourcentage de sodium échangeable par rapport à la capacité d'échange doit être supérieur à 15.

Dans la classification française, ces sols sont regroupés dans la sous-classe des sols halomorphes à structure dégradée.

Cette sous-classe est divisée en trois groupes : sols à alcalis non lessivés - sols à alcalis lessivés - sols à alcalis à argile dégradée.

Localisation : Les sols salés se rencontrent le plus souvent sous les climats à faible pluviosité et à forte évaporation (zones arides ou subarides).

Ils sont fréquents dans les zones côtières et dans les régions où les roches sont salines.

La salinité des sols peut avoir pour cause :

— des apports marins dans les zones côtières (mascaret, par exemple);

— des apports éoliens;

— la présence d'une nappe phréatique peu profonde riche en sels dissous (remontée capillaire);

— une irrigation, sur sol drainant mal, à partir d'une eau légèrement saline (accumulations).

Identification : Une teneur en sel élevée provoque la formation d'une croûte saline blanchâtre, à la surface du sol. Une structure poudreuse est observable dans les premiers centimètres; les argiles restent cependant floculées.

Le sol est alors colonisé par une végétation halophyte.

Cette végétation est composée d'espèces plus ou moins adaptées à la présence de sels dans le sol.

Une première approximation du degré de salinité peut être déduite des associations végétales existantes (présence de plantes peu, moyennement ou très tolérantes au sel permettant d'établir un gradient de salinité, à l'intérieur d'une même zone, par exemple).

On peut citer pour la Libye et la Tunisie (par ordre croissant de résistance) :

Atriplex halimus	— *Arthrocnemum glaucum*
Sueda fruticosa	— *Salicornia fruticosa*
Salsola tendra	— *Halocuemum strobilacum*

Dans le cas des sols riches en sodium échangeable, la structure des horizons est caractéristique :

— en colonnettes
— prismatique
— massive

En surface la migration des argiles dispersées en présence du sodium entraîne la formation d'un horizon A^2.

Ces sols nommés solonetz sont appelés solod quand l'horizon A^2 est **nettement marqué** et blanchi.

Il y a donc différenciation morphologique du profil. La surface montre une texture plus grossière, cependant qu'en profondeur une accumulation d'argile crée un horizon peu perméable.

Ces phénomènes sont peu marqués dans les sols à texture grossière.

Au laboratoire :

Trois mesures essentielles permettent d'identifier les sols :

— La conductivité de l'extrait de pâte saturée;

— La teneur en sodium échangeable par rapport à la capacité d'échange;

— Le pH.

La conductivité de l'extrait de pâte saturée :

CE 25 °C donne la salinité des sols. L'échantillon amené à saturation par des additions successives d'eau distillée est placé sur un Büchner, et soumis au vide ; la faible quantité d'eau qui est alors recueillie est l'extrait saturé sur lequel se mesure la CE 25 °C, exprimée en micromhos et m.e. représentant le nombre de millivalences par litre, positives ou négatives de la solution. On peut également opérer avec des solutions plus diluées (1/10 ou 1/15) dont les résultats doivent être rendus comparables à ceux de l'extrait saturé.

Echelle de salinité des sols (J. H. Durand)

Degré de salinité	Non salin	légèrement salin	salin	Très salin	extrêmement salin
m.e. %	2,5	5	10	20	
CE 25 °C en micromhos					
— extrait 1/10	250	500	1 000	2 000	
— extrait 1/5	500	1 000	2 000	4 000	
Extrait saturé Riverside	2 000	4 000	8 000	16 000	

Tableau donnant les limites entre sols salins et alcalins

	CE 25 °C en millimhos	Es P (1)	pH
Sols salins	> 4	< 15	< 8,5
Sols alcalins salins	> 4	> 15	> 8,5
Sols alcalins non salins ..	< 4	> 15	8,5 — 10

(1) Pourcentage d'Ions Na adsorbés par rapport à la totalité de cations adsorbés.

La teneur en sodium échangeable par rapport à la capacité d'échange

Pour connaître l'origine de la salure, un bilan ionique est nécessaire, Il faut doser Ca Mg Na et K.

Le bilan ionique permet d'évaluer le SAR ou *Sodium Absorption Ratio*.

Il existe en effet une relation entre le taux de sodium échangeable d'un sol en équilibre avec sa solution saline et celui de cette solution. Cette relation dépend de l'expression :

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

dans laquelle Na^{+}, Ca^{++} et Mg^{++} sont les teneurs en m.e. de la solution du sol.

Cette expression est liée au pourcentage de sodium échangeable d'un sol à l'équilibre avec sa solution saline par la relation :

$$\text{ESP (\% de Na échang.)} = \frac{100\ (-\ 0{,}0126 + 0{,}01475\ SAR)}{1 + (-\ 0{,}0126 + 0{,}01475\ SAR)}$$

Influence de la salinité des sols sur les cultures

Les sols salins gênent ou interdisent le développement des plantes cultivées.

La salinité provoque une augmentation de la pression osmotique des solutions du sol, empêchant l'absorption racinaire.

En effet, les plantes absorbant l'eau par osmose, cette absorption est conditionnée par la différence de la pression osmotique de leur sève et de la solution du sol.

La plante prendra ses aliments dans la solution qui se concentre; à un moment donné la plante aura une pression osmotique équivalente à celle de la solution et ne pourra plus absorber d'eau.

De plus certains ions sont toxiques à dose importante (Bore par exemple).

Un classement des plantes cultivées, selon leur sensibilité aux sels pourrait être le suivant :

- Très sensible : Néflier du Japon - Haricot ;
- Sensible : Noyer - Poirier - Pommier- Figuier - Vigne - Cerisier - Avocatier - Fraisier - Tabac - Maïs ;
- Moyennement sensible : Tournesol - Pois - Fève - Féverolle - Vesce - Soja - Patate douce - Chanvre - Agrumes - Abricotier - Amandier ;
- Résistant : Asperge - Épinard - Cotonnier - Certains riz (Tsipala de Madagascar de par exemple) - Radis - Sorgho ;
- Extrêmement résistant : Palmier Dattier - Atriplex.

Les sols alcalins, de par leur structure, sont très difficiles à travailler. De plus, sous un pH élevé en présence de carbonate de sodium, les racines peuvent être dissoutes.

Amélioration

Les sels étant dus à des insuffisances en eau et en drainage, les sols salins sont améliorés par lessivage des sels solubles par

submersion. Ceci implique la mise en place d'un réseau de drainage complémentaire du réseau d'irrigation.

Les sols alcalins sont traités par apport de calcium pour éliminer le sodium du complexe; on pratique des amendements calciques en utilisant du gypse. Si le sol est calcaire, surtout s'il contient du carbonate de sodium, on peut utiliser l'acide sulfurique dilué ou le soufre ou la pyrite. L'apport de gypse est lié à une forte irrigation et un drainage efficace.

Quand cela est possible, on évite au départ, les processus de salinisation (pompage rapide des eaux dans les polders du lac Tchad, par exemple. Ceci évite l'accumulation des sels par évaporation, qui se produit lors d'un assèchement naturel).

— Choix des eaux d'irrigation;

— Système de drainage efficace, etc...

VII

APTITUDE D'UN SOL À L'IRRIGATION

L'irrigation d'un périmètre nécessitant des travaux onéreux, il faut que le terrain à irriguer soit choisi judicieusement.

Outre les qualités intrinsèques du sol, il conviendra d'étudier tous les facteurs écologiques (sensu lato) influant sur la conduite d'une irrigation rationnelle.

Quatre éléments principaux sont à considérer dans un premier temps car ils imposeront le mode d'arrosage :

le sol — la topographie — le drainage — la qualité des eaux d'irrigation.

1. LE SOL

Il convient d'étudier en priorité les propriétés physiques du sol car celui-ci peut être assimilé à la fois à un support permettant l'avance de l'eau et à un réservoir. Il faut tenir compte de :

— la profondeur du sol utilisable par les racines

Les sols peu profonds sur roches dures, cuirasses et carapaces sont à éliminer.

— la charge caillouteuse

Elle est importante car elle influe sur la pénétration des racines, le travail du sol, l'usure des instruments aratoires.

— la texture, la perméabilité

La perméabilité est liée à la texture. Une terre très sableuse (texture grossière), ne favorise pas l'avance de l'eau, la laissant filtrer trop rapidement (l'aspersion peut alors seule convenir).

Une terre très argileuse (texture fine à très fine) est souvent peu perméable et doit être réservée à la riziculture. Une terre de texture moyenne permettra à la fois une irrigation facile et une bonne diversification des cultures, toutes choses égales par ailleurs.

— la structure

Très importante car elle influence l'aération du sol, joue un rôle dans la résistance à l'érosion et la perméabilité.

Il faut éviter les sols de structure très massive, trop compacts, qui sont asphyxiants pour les plantes.

— la capacité de rétention en eau

Plus la quantité d'eau stockée par le sol est grande, plus grande aussi est la quantité disponible pour les plantes (la capacité de rétention en eau des sols sableux est faible $< 10\ \%$, celle des sols argileux $> 30\ \%$).

— **la présence de sels solubles ou de sodium échangeable** qui obligera à des techniques particulières (lessivage, apport de gypse).

— **la présence d'éléments toxiques** comme le bore, par exemple.

Mesures à effectuer :

Essentiellement :

- Granulométrie : % de colloïdes, limons et sables.
- Conductivité : mesures de salinité.
- pH : acidité.
- Perméabilité : si possible sur le terrain avec l'eau qui servira aux irrigations.
- Capacité de rétention en eau : quantité maximale d'eau capillaire retenue par le sol.
- Point de flétrissement permanent : marque la limite de l'eau absorbable pour toutes les plantes (correspond à une énergie de rétention de 16 000 g/cm (PF 4,2).

2. LA TOPOGRAPHIE (sensu lato)

— la pente :

Elle conditionne le mode d'irrigation et la culture retenue. Une surface sub-plane permet une irrigation par submersion ou par calants.

Sur un sol en pente une irrigation par épandage ou par infiltration peut être réalisée. Dans certains cas elle nécessite l'installation de banquettes ou de terrasses à des intervalles d'autant plus rapprochés que la pente est forte, les pertes de terre par érosion sont ainsi limitées.

— le microrelief :

Obligera à des travaux de nivellement s'il est trop prononcé.

D'autres facteurs entrent en ligne de compte mais ne concernent

plus directement le sol (accessibilité du terrain - populations - défrichement éventuel etc.).

3. LE DRAINAGE

Ce problème doit être vu dans son ensemble. Il faut étudier tous les facteurs pouvant entrer en ligne de compte :

— position de la zone à irriguer par rapport à son bassin versant

— régime de crue des rivières - zones inondables

— imperméabilité des horizons de surface pouvant provoquer une inondation temporaire par non-infiltration des pluies

— perméabilité des horizons profonds

— profondeur de la nappe phréatique et amplitude de son battement, composition chimique de ses eaux.

4. EAUX D'IRRIGATION

Toutes les eaux naturelles contiennent des sels minéraux en solution. C'est la concentration et la proportion de ces sels qui déterminent les possibilités d'utilisation.

La qualité des eaux est donc fonction de :

— la quantité totale des sels dissous

— de la nature des sels

Aux Etats-Unis le laboratoire de Riverside (Richards et al. 1954) classe les eaux en fonction de leur salinité (conductivité) et du danger d'alcalinisation du sol (estimé en fonction du sodium absorbable par le sol).

Si théoriquement des eaux ayant le même taux d'absorption du sodium donnent au sol le même pourcentage de sodium échangeable à l'équilibre, la vitesse à laquelle cet équilibre est atteint, dépend de la concentration de l'eau, c'est-à-dire de sa conductibilité spécifique.

Quatre classes ont été distinguées d'après le taux d'absorption de sodium et la concentration de l'eau (cf diagramme).

— **Salinité :**

4 classes d'eau

C 1) C.E. (conductivité électrique) à 25 °C $<$ 250 micromhos/cm/cm

Eaux utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols. Léger lessivage nécessaire, mais il se produit en irrigation normale sauf en sol très peu perméable.

C 2) C.E. à 25 °C comprise entre 250 et 750 micromhos/cm/cm

Eaux utilisables avec un léger lessivage. Les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser.

C 3) C.E. à 25 °C comprise entre 750 et 2 250 micromhos/cm/cm
Eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint.
Plantes ayant une bonne tolérance aux sels.

C 4) C.E. à 25 °C > 2 250 micromhos/cm/cm

Peuvent être utilisées exceptionnellement sur des sols très perméables avec un bon drainage et l'eau sera appliquée en excès pour provoquer un fort lessivage du sol.

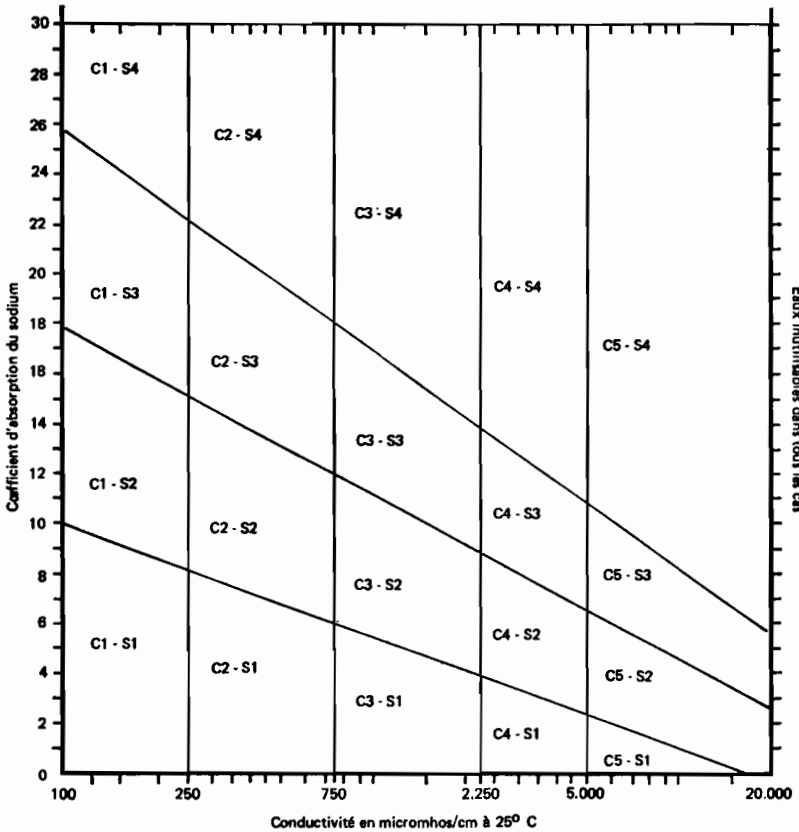


Diagramme permettant de déterminer la qualité des eaux en fonction de la conductivité et du coefficient d'absorption du sodium.

Teneurs en sodium 4 classes (SAR = Sodium Absorption Ratio = Coefficient d'absorption du Sodium).

S1 - $O < SAR < 10$
Peu de danger d'alcalinisation

S2 - $10 < SAR < 18$
Danger d'alcalinisation appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange surtout dans des conditions de faible lessivage. Eaux utilisables sur les sols à texture grossière ou les sols organiques ayant une bonne perméabilité.

S3 - $18 < SAR < 26$
Eaux nécessitant un aménagement spécial : bon drainage, fort lessivage, addition de matières organiques.

S4 - $SAR > 26$
Danger d'alcalinisation fort
De telles eaux sont utilisables pour l'irrigation si leur faible salinité permet l'addition de calcium soluble ou si le sol en contient suffisamment.

Après avoir étudié tous ces facteurs il convient de les hiérarchiser afin de déterminer les contraintes.

Certains seront des facteurs limitants absolus (pente trop forte), d'autres des facteurs limitants importants (faible capacité de rétention en eau, forte salure).

Il sera ainsi rendu possible l'établissement d'une carte des aptitudes des sols à l'irrigation.

Diverses classifications existent selon les pays.

A titre d'exemple nous citerons la classification U.S.B.R. (« Bureau of Reclamation ») : classification américaine des sols en vue de l'irrigation.

Cette classification comporte 6 classes se définissant comme suit :

1. — Terres cultivables par irrigation — potentiel de production élevé — coût des infrastructures relativement faible.
2. — Terres cultivables et irrigables au potentiel de production plus faible, à coûts d'installation et de production un peu plus élevés.
3. — Terres cultivables par irrigation à potentiel assez faible ne permettant pas la généralisation de l'irrigation sans aménagement.
4. —Terres cultivables par irrigation dans des conditions limites ou à usages spéciaux (inondation, aspersion, etc.).
5. — Terres provisoirement non cultivables par irrigation dans les conditions existantes. Elles peuvent présenter un potentiel suffisant pour envisager des études ultérieures qui permettront de définir quelle partie passerait en classe 4 et le reste en classe 6.
6. — Terres non utilisables pour l'irrigation qui ne peuvent pas faire partie d'un projet d'aménagement.

VIII

APTITUDE D'UN SOL AU DRAINAGE

L'étude du sol intervient à trois niveaux :
— pour déterminer les zones à drainage déficient ;
— pour définir les causes de cette déficience ;
— pour récolter des données en vue de l'installation d'un système de drainage.

1. DÉTERMINATION DES ZONES À DRAINAGE DÉFICIENT

L'observation des sols permet de diagnostiquer l'insuffisance du drainage, en particulier au travers des signes d'hydromorphie :
— hydromorphie de surface caractérisée par une nappe perchée dans la partie supérieure du profil (pseudo-gley). Le profil se caractérise par un horizon tacheté ou marmorisé près de la surface et souvent par un horizon humifère bien développé ;
— hydromorphie profonde en liaison avec une nappe phréatique continue et souvent permanente sous le profil. Dans ce cas, outre un horizon tacheté ou marmorisé plus ou moins proche de la surface, il existe un horizon réduit à plus grande profondeur, de couleur verdâtre, bleuâtre ou grisâtre.

2. DÉFINITION DES CAUSES

Un drainage déficient peut être provoqué par un mauvais **drainage externe,** un mauvais **drainage interne** ou les deux à la fois.

Les facteurs qui limitent le drainage externe peuvent être d'ordre **topographique** (bas-fonds, vallées, dépressions fermées...) ou d'ordre **hydrographique** (inondations, présence d'une nappe fluviale...) L'observation des cartes topographiques ou des photographies aériennes permettent de détecter ces situations.

Les facteurs qui limitent le drainage interne sont directement liés au sol, le profil étant entendu ici dans son acception la plus large. En effet, il est fréquemment nécessaire de prendre en compte les **couches profondes** comprises entre 2 et 5 mètres. Les **niveaux imperméables** peuvent être de nature diverse : couches argileuses compactes ou limono-argileuses de structure fondue, horizons limoneux fortement tassés de type « fragipan » et horizons d'accumulations de texture variable (alios, croûtes calcaires zonaires, cuirasses ferrallitiques).

Il arrive fréquemment qu'un mauvais drainage externe s'accompagne d'un drainage interne déficient. En effet, les stations mal drainées favorisent l'accumulation des éléments fins dans le profil et aboutissent à la formation de sols peu perméables. C'est notamment le cas des **vertisols** et **sols bruns eutrophes** en zone intertropicale.

3. RÉCOLTE DES DONNÉES EN VUE DE L'INSTALLATION D'UN SYSTÈME DE DRAINAGE

Les observations précédentes sur les sols et leur environnement permettent de choisir le système de drainage. Un premier choix peut intervenir entre un système de surface par fossés et collecteurs et un système par drains enterrés.

Dans les deux cas, et en particulier dans le second cas, des études complémentaires sont nécessaires en vue de déterminer les paramètres du réseau de drainage (profondeur et espacement des drains). Ces études concernent essentiellement les mesures de la **conductivité hydraulique** des sols, la détermination du toit des **niveaux imperméables** et la profondeur du **niveau piézométrique** de la nappe phréatique.

Cette dernière mesure s'effectue le plus souvent après l'installation de tubes piézométriques (tubes creux ajourés dans leur partie inférieure).

La conductivité hydraulique correspond à la perméabilité d'un sol saturé en eau. Elle a une composante **horizontale** (Kh) et une composante **verticale** (Kv) et le rapport entre ces deux valeurs correspond aux **coefficients d'anisotropie** (R) du sol. Des prélèvements d'échantillons « en place » permettent d'effectuer sur un même échantillon des mesures dans les deux directions et par là même de connaître la valeur du coefficient d'anisotropie. Celui-ci prend des valeurs situées entre 1 (sol sableux isotrope) à 5 ou plus (sol argileux stratifié).

Des mesures de terrain *in situ* permettent de déterminer la valeur apparente de la conductivité hydraulique (Ka), résultante de Kh et Kv. Différentes méthodes existent qui pourront être choisies selon les conditions et moyens disponibles :

— **méthode du puits et des piézomètres avec pompage (méthode Guyon)**

Cette méthode exige des matériels assez lourds et est assez longue à mettre en place. Elle donne par contre des résultats très fiables et s'adapte à des études en vue du drainage sur des parcelles de dimensions réduites, destinées à des cultures intensives.

— **méthode du trou de tarière avec rabattement de nappe**

Elle est rapide, mais demande un nombre suffisant de répétitions pour tenir compte de la dispersion des résultats. Elle est bien adaptée dans le cas de prospection sur de grandes surfaces où la méthode précédente devient très lourde à mettre en œuvre.

— **méthode du trou de tarière en sols exondés** (méthode Porchet)

C'est une méthode simple et rapide qui, comme la précédente, peut être utilisée pour une large prospection. Elle a toutefois l'inconvénient de donner des résultats qui correspondent à des sols non saturés donc susceptibles de réagir de façon sensiblement différente dans les conditions hydriques du drainage. C'est malgré tout la seule méthode qui permette d'obtenir des données dans un profil non saturé.

— **méthode du double-cylindre (méthode Müntz)**

Elle permet de mesurer **l'infiltration,** composante verticale de la perméabilité en sol non saturé. Elle n'est donc pas à proprement parler adaptable aux études en vue du drainage, mais peut fournir des cor-

rélations intéressantes et est de toutes façons très utile pour déterminer la fréquence des doses d'irrigation.

— **méthodes de laboratoires :**
Elles sont variées (méthodes Vergières, Hénin, etc.) et comme indiqué plus haut, elles peuvent servir à déterminer l'anisotropie des sols. Des richesses d'erreur grossière sont susceptibles de se produire dans les matérieux hétérogènes et il est préférable de faire appel aux méthodes *in situ*.

4. CAS DES SOLS SALÉS ET/OU ALCALINS

Les sols salés et/ou alcalins nécessitent le plus souvent l'installation d'un réseau de drainage pour assurer l'évacuation des eaux chargées. Dans le cas de l'irrigation avec des eaux moyennement salées, la nécessité du drainage devient même impérative.

Les besoins en lessivage (LR) devront être estimés au moyen de la formule :

$$LR = \frac{D}{I} = \frac{Ci}{Cd}$$

D = quantité d'eau de drainage ;
I = quantité totale d'eau d'irrigation = pluviométrie + besoins des plantes + eau de drainage ;
Ci = salinité de l'eau d'irrigation ;
Cd = salinité de l'eau de drainage qui dépend de la tolérance des cultures aux sels.

Généralement les valeurs de Cd sont de l'ordre du double de celles de la salinité du sol à saturation, lesquelles correspondent aux normes de tolérance pour les cultures. Par exemple, une culture semi-tolérante qui peut se développer dans un sol contenant 4 g de sel par litre dans l'extrait saturé (conductivité électrique d'environ 6 mmhos/cm) devra être drainée de façon à ce que l'eau de drainage évacuée ait une conductivité de l'ordre de 12 mmhos/cm (environ 7,8 g/litre). Connaissant la salinité de l'eau d'irrigation (Ci), et les valeurs de la pluviométrie (P) et des besoins de la culture (E) on en déduit les besoins en lessivage (LR) et la quantité d'eau de drainage (D) :

$$LR = \frac{Ci}{Cd} \quad \text{et} \quad D = \frac{(P + E)\,LR}{1 - LR}$$

L'étude de la **balance en sels de l'eau et du sol** permet en outre de suivre l'évolution prévisible de la salinité du sol en fonction des différents paramètres.

De façon simplifiée, cette balance peut s'écrire :

$$I.Ci = D.Cd + \Delta S$$

où ΔS est la variation de la salinité du sol pour une période donnée.

Ainsi, le dessalement d'un sol avant une mise en culture peut nécessiter une quantité importante d'eau de drainage au cours d'une phase de **lessivage initial.**

Cette quantité ainsi que la nécessité d'une bonne répartition de l'eau au travers du sol vont influencer fortement les caractéristiques du réseau de drainage.

IX

CLASSIFICATION DES SOLS

1. CLASSIFICATION FRANÇAISE (utilisée par les pédologues français à Madagascar, en Afrique francophone et établie avec la collaboration des pédologues travaillant en France, dans le cadre de la Commission de Pédologie et de Cartographie des sols - CPCS).

Elle comprend 12 classes :

1) Sol minéraux bruts
2) Sols peu évolués
3) Vertisols
4) Andosols
5) Sols calcimagnésiques
6) Sols isohumiques
7) Sols brunifiés
8) Sols podzolisés
9) Sols à sesquioxydes de fer
10) Sols ferrallitiques
11) Sols hydromorphes
12) Sols sodiques ou halomorphes

Les classes regroupent les sols issus d'un même grand processus de formation (ferrallitisation, hydromorphie...). Elles se subdivisent en sous-classe, groupe et sous-groupe.
Toutes ces classes sont particulièrement représentées en Afrique sauf la classe 8.

1) Sols minéraux bruts

Le profil est de type AC ou AR, la matière minérale est plus ou moins désagrégée, la matière organique est rare. Ce sont les sols de désert (erg, reg), les sols sur roches n'ayant pas ou ne pouvant pas subir d'évolution pédologique (manque d'eau par exemple), les cuirasses et carapaces. Ils sont de peu d'intérêt pour l'agriculture.

2) Sols peu évolués

Le profil de type AC montre un horizon humifère net, une altération de la roche mère assez poussée, mais une évolution difficile à définir par suite de la jeunesse du sol ou du peu d'action du climat. Ces sols s'observent dans des régions où l'érosion est forte (sol peu évolué d'érosion) ou dans des endroits où les dépôts sont fréquents par les cours d'eau, par les volcans (sol peu évolué d'apport). Ils peuvent présenter un très grand intérêt pour l'agriculture.

3) **Vertisols**

Sols de couleur foncée, à profil ABC, ils sont caractérisés par la présence d'argile gonflante dans une proportion de 30 à 40 %. En saison sèche, ils montrent de larges fentes de retrait jusqu'à 50 cm de profondeur et plus; leur perméabilité est faible. Ils sont difficiles à travailler, mais leurs réserves en bases échangeables et phosphore assimilable sont généralement très fortes. Observés en maints pays (Mali, Sénégal, Togo, Ethiopie), ils sont souvent cultivés en coton; communément, on les appelle argiles noires tropicales ou black soils.

4) **Andosols**

Sols provenant de roches volcaniques, leur fraction minérale se caractérise par l'abondance de produits amorphes, les allophanes, associés à des teneurs souvent élevées en matière organique. Ils sont encore assez mal connus.

5) **Sols calcimagnésiques**

Sols dominés par la présence des ions alcalino-terreux (Ca, Mg), leur profil est souvent peu épais, avec accumulation des carbonates et/ou du gypse, en profondeur; ce sont entre autres, les rendzines bien connues en zone méditerranéenne.

6) **Sols isohumiques**

Sols caractérisés par une teneur en matière organique progressivement décroissante avec la profondeur; le plus connu est le chernozem. En zone tropicale, ils rassemblent les sols châtains et les sols bruns sub-tropicaux, les sierozems et les sols bruns sub-arides. Leur complexe est saturé, mais la teneur en matière organique est faible.

7) **Sols brunifiés**

On n'observe, en zone tropicale, que les sols bruns eutrophes, dérivés de roches riches en calcium (basalte, amphibolite) : l'humus doux ou mull est bien lié à la matière minérale, mais la couleur tend au brun rouge par suite de la libération des sesquioxydes de fer. Ils sont de bonne fertilité.

9) **Sols à sesquioxydes de fer** (se forment sous une pluviométrie < 1300 mm).

Sols à profil ABC, ils sont caractérisés par l'individualisation du fer qui leur donne une couleur rouge ou ocre très remarquable. Les teneurs en matière organique sont faibles, l'argile de type varié : kaolinite, illite. Ils se divisent en sols rouges et bruns méditerranéens et en sols ferrugineux tropicaux, souvent lessivés et riches en concrétions ferrugineuses.

Lorsque ces concrétions sont très abondantes, il peut même y avoir formation de cuirasses d'accumulation très dures ou de carapaces (dureté moindre).

Lorsque l'horizon humifère de surface est suffisamment épais, ils sont de fertilité moyenne et servent souvent aux cultures vivrières.

10) **Sols ferrallitiques** (pluviométrie > 1 300 mm).

Sols à profil ABC, souvent très épais; ils se développent dans les régions les plus humides de la zone tropicale; l'altération des minéraux est très poussée avec libération du fer, du manganèse et même de l'aluminium (gibbsite), et départ de la silice, d'où un rapport silice/aluminium inférieur à 2. La capacité d'échange est faible, toujours intérieure à 20 m.e. par 100 g de terre, le taux de saturation faible ou moyen, le pH acide. Ils portent des plantations d'hévéas, de palmiers à huile, de cacaoyers... (1)

11) **Sols hydromorphes**

Sols marqués par un engorgement temporaire ou permanent d'une partie ou de l'ensemble du profil. Selon l'état de la matière organique et les pourcentages existant dans le sol, ils sont divisés en : sols hydromorphes organiques - sols hydromorphes moyennement organiques - sols hydromorphes minéraux ou peu humifiés. Lorsque la maîtrise de l'eau est acquise, ils peuvent être cultivés (Riz-légumes-bananiers, etc.).

12) **Sols sodiques** (ou halomorphes)

Sols dont l'évolution est dominée soit par la présence de sel soluble, chlorure, sulfate... soit par la présence de sodium échangeable. Ils sont fréquents en zone méditerranéenne et en zone sèche intertropicale (cuvette tchadienne). Il est possible de les utiliser soit après lessivage soit après apport de gypse.

2. LISTE DES UNITÉS DES SOLS - FAO

- FLUVISOLS
- GLEYSOLS
- REGOSOLS
- LITHOSOLS
- ARENOSOLS
- RENDZINAS
- RANKERS
- ANDOSOLS
- VERTISOLS
- SOLONCHAKS
- SOLONETS
- YERMOSOLS
- XEROSOLS
- KASTANOZEMS
- CHERNOZEMS
- PHAEOZEMS
- GREYZEMS
- CAMBISOLS
- LUVISOLS
- PODZOLUVISOLS
- PODZOLS
- PLANOSOLS
- ACRISOLS
- NITOSOLS
- FERRALSOLS
- HISTOSOLS

---

(1) Les ferrisols (classification belge des sols du Congo - INEAC) sont placés au niveau du groupe dans la classe des Kaolisols.
Les kaolisols sont des sols proches des sols ferrallitiques, mais présentant de meilleures qualités. Leur profil, à transitions diffuses, présente souvent un horizon B structural.
Leur réserve en minéraux est en général faible.
La fraction argileuse est constituée surtout de kaolinite mais présente aussi parfois de la montmorillonite et de la gibbsite, ou de l'illite.
La capacité d'échange de l'horizon A est généralement supérieure à 20 m.e. aux 100 g et le taux de saturation inférieure à 50 % dans les horizons B et C.

3. ESSAI DE CORRESPONDANCE ENTRE CLASSIFICATION FRANÇAISE ET UNITES DE SOLS - FAO POUR LES REGIONS TROPICALES.

Unités FAO	Classication française
— Fluvisols	— Sols peu évolués d'apport
— Gleysols	— Sols hydromorphes moyennement organiques et peu organiques à gley
— Regosols	— Sols peu évolués régosoliques
— Lithosols	— Sols peu évolués lithiques
— Arenosols	— Sols ferrallitiques - sableux; sols ferrugineux tropicaux; non lessivés sableux
— Rendzinas	— Rendzines
— Rankers	— Rankers
— Andosols	— Andosols
— Vertisols	— Vertisols
— Solontchak	— Sols salins Solontchak
— Solonetz	— Sols sodiques - Solonetz
— Yermosols	— Siérozems
— Xerosols	— Sols bruns subarides
— Castanozems	— Sols marrons et sols châtains - Castanozem
— Chernozems	— Chernozems
— Cambisols	— Sols peu évolués - sols bruns non lessivés, Sols ferrugineux tropicaux non sableux et non lessivés — Sols bruns eutrophes tropicaux
— Luvisols	— Sols bruns lessivés — Sols ferrugineux tropicaux lessivés
— Planosols	— Planosols
— Acrisols	— Sols ferrallitiques moyennement ou fortement dessaturés
— Nitosols	— Sols ferrallitiques faiblement ou moyennement dessaturés
— Ferralsols	— Sols ferrallitiques non lessivés
— Ferrisols	— Intermédiaires entre les sols ferrallitiques et ferrugineux et présentant une accumulation d'argile
— Histosols	— Sols tourbeux

NOMENCLATURE DES UNITÉS DES SOLS AFRICAINS ET LEUR RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

d'après la carte des sols au 1/5 000 000 (D'Hoore, CCTA)

	Surface en 10^3 km²			
	Madagascar	Continent		
		Nord	Sud	Total
Sols minéraux bruts	0	7 974	261	8 235
Sols peu évolués	158	4 266	1 800	6 066
Sols calcimorphes	9	190	17	207
Vertisols	8	718	243	961
Podzols	rares	rares	rares	rares
Sols lessivés	0	16	105	—
Sols bruns et châtains des zones arides	0	1 499	1 205	2 704
Sols bruns eutrophes des régions tropicales	<2	108	40	148
Sols rouges et bruns méditerranéens	8	59	9	68
Sols ferrugineux tropicaux	166	2 025	1 270	3 295
Ferrisols	33	456	461	917
Sols ferrallitiques	210	1 922	3 416	5 338
Sols halomorphes	6	172	195	367
Sols hydromorphes	7	479	198	677
Sols organiques non hydromorphes	—	1	2	3
Associations et complexes	rares	rares	rares	rares
Surfaces couvertes en eau	<1	63	159	222
TOTAL	607	19 948	9 381	29 329

4. NOMENCLATURE DES SOLS AFRICAINS ET LEUR RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE D'APRÈS LA CARTE DES SOLS AU 1/5 000 000 (D'HOORE, CCTA)

La répartition en surface des sols africains dans les diverses unités pédologiques met en relief l'importance par ordre décroissant des sols suivants :

— Sols minéraux bruts;
— Sols peu évolués;
— Sols ferrallitiques;
— Sols ferrugineux tropicaux;
— Sols bruns des zones arides;
— Vertisols;
— Ferrisols.

Ces sept unités de sols occupent 88 % de l'Afrique continentale. Les sols minéraux bruts et peu évolués couvrent à eux seuls près de la moitié des terres. Les sols ferrallitiques, ferrugineux et intermédiaires en couvrent près du tiers.

Les **sols hydromorphes** sont souvent utilisés en agriculture et présentent de ce fait un grand intérêt.

Les **sols halomorphes** posent souvent des problèmes aux pédologues et aussi aux agronomes.

Tous ces sols ont été définis précédemment.

X

MISE EN VALEUR DE SOLS TROPICAUX

1. LES SOLS FERRALLITIQUES

1.1. Caractéristiques

Développés dans les régions les plus humides, leur profil présente généralement un bon développement des 3 horizons A, B, C ; ils sont souvent très épais, jaune à rouge, avec en surface, une matière organique bien évoluée. Si l'horizon B est souvent sablo-argileux ou argilo-sableux, l'horizon de surface a généralement une structure grossière. En outre, des concrétions peuvent exister en plus ou moins forte densité, plus ou moins proches de la surface ; également, on peut observer des phénomènes d'induration.

1.2. Cultures pratiquées

Ces sols portent toutes les cultures pérennes, fréquentes dans les régions sub-tropicales humides et équatoriales : palmier à huile, cacaoyer, caféier, hévéa, ainsi que bananier, ananas et les cultures vivrières telles que manioc, maïs, igname.

1.3. Problèmes posés

— Discontinuité entre les horizons

Un changement trop brutal de texture, de structure, entre deux horizons superficiels, est une entrave à un bon enracinement. Sous bananier, en Côte d'Ivoire, un horizon B trop riche en gravillons ferrugineux est un obstacle ; au Cameroun, il y a, vers 25-40 cm, un horizon cimenté de cendres volcaniques ; dans ce dernier cas, un sous-solage a un résultat bénéfique.

Mais en général, les structures des sols ferrallitiques sont plus favorables à un bon enracinement que les structures des sols ferrugineux tropicaux.

— Stabilité structurale - Porosité

Après défrichement, on constate une baisse de la stabilité structurale ; Is passe de 0,30 à 1 en Centrafrique après 2 ans de culture sous savane à Imperata et à 2 après 4 ans. Si dans le premier cas Is est acceptable, dans le deuxième, il ne permet plus l'implantation spontanée de la jachère.

A Man (Côte d'Ivoire, pluie 1 800 mm), le coton s'enracine plus profondément, plus densément quand la porosité atteint 55 % (da = 1,15) que lorsque la porosité est de 40 % (da = 1,50) ; d'une façon générale quand la porosité d'un sol est inférieure à 40 %, l'enracinement se fait mal ; l'optimum se situe pour des porosités de 50 à 60 %.

— Labours

Ils ont en général un effet favorable sur les rendements par l'augmentation de la porosité qu'ils occasionnent. A Grimari (Centrafrique) un seul labour, au tracteur et à la charrue, après une jachère à Imperata, a permis d'obtenir 800 kg/ha de coton (4 à 500 en culture traditionnelle) ; à Bouaké (C.I.), la charrue augmente les rendements en igname ; par contre, sous défriche forestière, le labour ne paraît pas indipensable, avant café, cacao, palmier ; bien que parfois utile il risque de détruire l'horizon humifère, fragile.

Les labours profonds, s'ils permettent l'enfouissement des résidus de récolte et par conséquent, l'amélioration de la structure, présentent des risques par érosion, s'ils sont pratiqués sur de grandes surfaces plus ou moins accidentées et également des risques de tassement, par formation de sole de labours (A.V.B. en Côte d'Ivoire).

Quant au sous-solage, des essais faits en Côte d'Ivoire, à 50 cm de profondeur, montrent qu'après une action immédiate, localisée, rien n'en subsiste après 8 à 10 mois ; l'action sur les rendements est aléatoire, parfois même négative.

La conservation de l'horizon superficiel est particulièrement importante, car il est le support essentiel de la fertilité.

A l'IITA d'Ibadan sont conseillées, sur sol fragile, les techniques du « minimum tillage » ou du « mulch-tillage » ou de l'enfouissement des résidus de récolte. L'emploi des herbicides est alors nécessaire.

CAS PARTICULIERS DES TERRES DE BARRE

LES TERRES DE BARRE, présentes au sud du Togo, du Bénin et du Nigéria, font partie des sols ferrallitiques faiblement désaturés.

Elles sont caractérisées par :
— leur grande profondeur (pouvant atteindre plusieurs mètres) ;
— leur couleur rouge ;
— leur granulométrie sablo-argileuse à argilo-sableuse, sauf la surface qui est sableuse ;
— leurs bonnes propriétés physiques, en particulier une perméabilité satisfaisante.

Compte tenu de leurs positions géographiques — côtières — ces sols sont très cultivés.

Au Sud Togo, ils sont considérés, en maints endroits, comme « dégradés » (horizon superficiel pauvre en éléments fins, riches en sable, abaissement du taux de matière organique, du pH avec pour conséquence, diminution de la fertilité).

De 1971 à 1974, une opération dite Régénération des Terres de Barre dégradées, a été réalisée avec comme objectif l'amélioration et la conservation de la fertilité des sols par :
— l'augmentation du taux de matière organique ;
— le relèvement du pH.

L'absence de troupeaux bovins interdisant l'emploi de la culture attelée et du fumier, l'amélioration des techniques culturales a porté sur :
— la réalisation de travaux mécaniques ;
— l'emploi d'engrais minéraux, en fumure de fond (1 t de phosphate naturel) et en couverture ;
— l'établissement d'une rotation culturale, assurant un compromis entre exigences agronomiques et besoins de l'agriculteur :

	Grande saison	**Petite saison**
1ère année	maïs	maïs
2ème année	maïs	maïs ou haricot
3ème année	maïs puis manioc	manioc
4ème année	manioc	maïs ou niébé

Les résultats obtenus :

— doublement des rendements traditionnels ;
— analyse des sols inchangée, vu la courte durée de l'opération ;
— essais de « minimum tillage » peu satisfaisants en raison des mauvaises herbes malgré les herbicides.

2. SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

2.1. Caractéristiques

Ces sols, surtout étudiés au Sénégal par l'IRAT, présentent des caractères communs :
— texture habituellement sableuse ou sablo-argileuse des horizons superficiels ;
— nette prédominance de la kaolinite dans la fraction argileuse du sol.

En hivernage, les pluies très agressives produisent sur le sol des effets de tassement, de battance, de dégradation de la structure.

Pendant la saison sèche, il se produit une augmentation très forte de la cohésion, une véritable « prise en masse » du sol.

En zone tropicale, aucun facteur naturel ne joue dans un sens favorable au développement de la structure.

Au contraire, la violence des pluies, la sécheresse et la durée de la saison sèche, la texture sableuse ou sablo-argileuse des horizons superficiels des sols et la prédominance de la kaolinite dans les minéraux argileux joueront en faveur de la dégradation du profil cultural et de la disparition de leur structure.

On peut en conclure que dans des conditions naturelles, les propriétés physiques des sols et en particulier leur structure ne seront a priori guère favorables à l'installation d'une végétation cultivée.

2.2. Végétation naturelle et culture

Selon la pluviosité, la végétation passe de la steppe à épineux, dans le nord, à la forêt claire dans le sud.

Les terres de culture sont rarement déboisées en totalité ; les jachères courtes sont à dominante d'herbacées ; les espèces ligneuses ne se développent qu'après plusieurs années (5 à 10 ans).

Les principales cultures sont :

— céréales : mils « Pennisetum », sorgho sur terrain plus argileux, maïs, riz pluvial ;
— légumineuses : arachide, niébé (en association avec mil hâtif) ;
— cotonnier.

On constate une nette corrélation entre développement racinaire et rendement en grain. Or, les racines ne se développent bien que si les propriétés physiques du sol sont bonnes. En zone tropicale sèche, la végétation a un rôle assez limité dans l'amélioration du profil cultural, sauf sous couvert forestier. Après déforestation, les propriétés physico-chimiques du sol se dégradent. Les facteurs biologiques sont donc insuffisants, naturellement, pour augmenter les qualités d'un sol et sa productivité.

2.3. L'amélioration du profil cultural

Les labours, en travaillant le sol en profondeur, provoquent des modifications de structure et de porosité, qualitatives et quantitatives qui influent directement sur l'enracinement des végétaux.

De plus, les labours qui enfouissent de la matière végétale (pailles ou matières vertes) ajoutent à l'action du travail du sol l'effet spécifique de la matière végétale enfouie, augmentant ainsi les rendements des cultures.

Les labours sont donc des opérations culturales efficaces et sont facilement généralisables en milieu paysan. Leur rémanence d'action est très différente en fonction de la nature de la culture qui suit le labour d'enfouissement. Après une arachide, les modifications apportées au profil cultural et à la structure sont très atténuées. Après une céréale, au contraire, le profil cultural est mieux conservé et les effets sur les rendements peuvent se poursuivre pendant 2-3 ans.

On voit donc l'importance que prend la succession culturale elle-même si l'on veut maintenir les effets favorables le plus longtemps possible. Il y a également intérêt à introduire dans ces successions

culturales des cultures à cycle court permettant d'enfouir régulièrement les résidus de récolte. Quand cela est possible, le labour de fin de cycle est préférable à celui de début de cycle.

Pour l'exécution des labours, à la suite de nombreuses observations faites sur le terrain, il ressort que le **travail fait à la charrue à soc** est **supérieur** à **celui réalisé à la charrue à disques.**

Cette dernière, même travaillant à faible vitesse, a tendance à trop pulvériser le sol et à faire en sol sableux des labours trop fondus. En revanche, elle convient pour les labours d'enfouissement et les labours sur terrains insuffisamment dessouchés.

De plus, on a constaté que les rendements croissent en même temps qu'augmente jusqu'à 25-30 cm environ la profondeur de sol travaillé ; à de telles profondeurs la traction motorisée s'impose alors.

Enfin le labour est meilleur s'il se fait quand le sol est humide, à un taux d'humidité légèrement inférieur à la capacité de rétention soit de 10 à 15 % pour ces sols.

3. LES ARGILES NOIRES TROPICALES

3.1. Caractéristiques

Les vertisols sont pour la plupart de couleur sombre, de texture fine et de réaction alcaline ou proche de la neutralité. En dépit de leur couleur foncée, ces sols sont en général pauvres en matière organique.

Les couches superficielles de ces sols ont en général de 30 à 90 cm d'épaisseur. La caractéristique la plus importante est leur capacité de gonflement et de retrait due à la présence d'argile gonflante.

La formation d'argile gonflante est en relation avec deux facteurs importants :

a) les alternances saisonnières marquées par une phase hydromorphe succédant à une phase de dessiccation intense ;
b) la richesse en cation alcalino-terreux Ca et Mg.

Le retrait et le gonflement des sols argileux entraînent un lent malaxage du sol tout entier jusqu'à une profondeur égale à celle des fissures.

La chute des matériaux de la surface dans les fentes provoque le retournement progressif de la totalité du sol jusqu'à une certaine profondeur.

3.2. Cultures et systèmes culturaux

La prairie constitue la végétation principale de ces sols non cultivés. Dans la majorité des cas, les vertisols sont consacrés au **pâturage** bien que leur valeur en tant que telle soit faible sur le plan capacité de charge à cause des fentes de dessiccation (qui nuisent au système racinaire) et de leur point de flétrissement élevé.

Dans les régions plus sèches où la pluviométrie annuelle est insuffisante, on pratique le dry-farming. On peut obtenir une récolte tous les deux ans. Dans la ceinture semi-aride du **Soudan,** ce système de culture sèche est le « terus ».

Quand l'irrigation est possible, elle peut être pratiquée sur de vastes superficies (GEZIRA au Soudan).

La gamme des plantes cultivées et leur rotation varient non seulement en fonction des conditions climatiques, mais aussi en fonction du niveau technique et des moyens dont disposent les populations.

Ainsi sur des vertisols, on peut cultiver :

- des céréales :
  - — blé, avoine, orge : en sec ou à l'irrigation (Soudan par exemple) ;
  - — sorgho, petit mil : développement possible plusieurs années de suite sur le même sol, surtout si l'on apporte les engrais nécessaires (Sénégal, Soudan. . .) ;
  - — riz : à l'irrigation par gravité ou par pompage (Cameroun par ex.). L'alternance « riz irrigué-cultures en sec » évite la formation d'hydrogène sulfuré.
- de la canne à sucre, à condition de réaliser un bon système de drainage.
- du coton, en ligne, soit en sec, soit à l'irrigation. Dans ce dernier cas, l'eau n'est apportée que lorsque se manifestent les premiers signes de flétrissement, juste avant l'apparition des fentes de retrait.
- des cultures fourragères :
  - — plantées spécialement pour des projets d'amélioration du bétail ;
  - — se développant spontanément quand on applique des engrais sur les prairies naturelles ;
  - — introduites en rotation avec le coton par exemple (Dolichos Lablab au Soudan).

3.3. Mise en valeur

Ces sols sont difficiles à cultiver malgré les progrès scientifiques et technologiques qui ont aplani certaines difficultés.

Travail du sol

La gamme des humidités optimales pour le labour est étroite et les sols ne demeurent dans ces conditions d'humidité que pendant des périodes relativement courtes. Les labours sont donc souvent réalisés dans de mauvaises conditions.

Les problèmes ne sont pas les mêmes pour tous les vertisols.

Les sols les moins difficiles sont ceux des argiles à self-mulching par suite de leur tendance naturelle à la formation d'un horizon de surface grenu de 2 à 30 cm d'épaisseur.

Beaucoup d'autres forment au contraire une croûte de plusieurs centimètres.

L'amélioration des propriétés physiques de ces sols constitue une action à long terme.

Les techniques de labour varient énormément dans les zones tropicales et subtropicales :

- Bâton épointé employé en saison sèche utilisé comme levier pour casser de grosses mottes.
- Houe et pioche : ces outils sont déjà plus élaborés et plus efficaces, surtout pour les adventices.
- Culture attelée avec instruments en bois comme sur les sols de Régur du Deccan. Mais faible surface cultivée et envahissement de *Saccharum spontaneum*.

- Utilisation de charrues à disques, pulvériseurs à disques et/ou herses rotatives :
  — Au Togo, en saison sèche, tracteurs à chenilles équipés de défonceuses. La jachère au Calopogonium améliore les rendements du coton qui lui succède (sans doute par amélioration de la structure).
  — Au Tchad, influence favorable du labour (15/25 cm) sur sols hydromorphes argileux et vertisols.

Avec l'accroissement de la mécanisation, il convient de prendre garde au danger de tassement du sol. Il faut effectuer les labours en temps utile. La date demeure le problème permanent.

Les cultures sophistiquées (graines sélectionnées, engrais, insecticides) ne peuvent être effectuées qu'avec du matériel moderne.

Conservation et utilisation de l'eau

L'irrigation est souvent délicate par suite d'un taux d'infiltration insuffisant ; en outre, lorsque ces sols sont trop humides, leur drainage est difficile. Les techniques pour une utilisation efficace de l'eau seront donc différentes d'un point à un autre.

En recouvrant les sols d'une couche de paille, la vitesse d'infiltration reste importante longtemps, car on empêche ainsi la formation d'une mince couche de sol tassé sous l'impact des gouttes de pluie.

Quand les vertisols sont situés en topographie plane, on doit faire un drainage de surface (culture sur ados et fossés).

Par suite de leur drainage difficile et de leur insuffisance de lessivage, ces sols peuvent s'enrichir en sels ; de plus, les eaux d'irrigation peuvent être plus ou moins salées.

Erosion

Il est très difficile d'éviter l'érosion même sur les pentes douces. Les méthodes classiques de conservation ne suffisent pas. Les banquettes deviennent inopérantes sur des pentes relativement fortes à cause du glissement latéral de la masse de terre.

Les cultures sarclées se révèlent dangereuses même sur des pentes faibles.

Emploi des engrais

Le niveau de fertilité réel de ces sols n'est pas très élevé mais un retournement permanent ou self-mulching, remontant des matériaux frais en surface maintient une certaine stabilité.

Bien que le niveau des sols puisse changer en fonction du type de roche mère, ils présentent une grande uniformité en ce qui concerne les éléments nutritifs. Il existe souvent des carences en phosphore et en azote.

Les pratiques culturales peuvent agir sur ces carences (meilleur drainage), une utilisation rationnelle des engrais peut accroître notablement les rendements lorsque d'autres facteurs limitants (humidité insuffisante ou mauvaises propriétés physiques) sont éliminés.

Le pH du sol influe fortement sur l'assimilabilité de certains éléments. Il vaut mieux employer des engrais à pH acide.

Au Congo, une culture de riz irriguée sur une parcelle expérimentale a produit 5 695 kg/ha avec une fumure de 300 kg de sulfate d'ammonia-

que et 200 kg de superphosphate. Sur témoin la production n'était que de 3 600 kg.

3.4. Exemples de mise en valeur de Vertisol

Au Burkina-Faso, à Saria, le sol présente un horizon différencié, en surface, sur 20 cm environ, de structure fine ; en-dessous, jusqu'à 300 cm, c'est une argile à structure prismatique.

La réserve utile en eau ne serait pas plus élevée que celle des sols ferrugineux sableux voisins, à cause de la valeur élevée de l'humidité du point de flétrissement. Conséquence : les semis précoces y sont beaucoup plus aléatoires. Par contre, en fin d'hivernage, l'humidité conservée en profondeur, permet l'exécution d'un labour dans des conditions à peu près correctes, ce qui est impossible dans les sols ferrugineux, pris en masse et impénétrables dès la fin des pluies. Des essais de labour annuel à plat, de billonnage et de travail minimum, montrent que dans ces sols à bonne structure de surface, le labour n'est pas nécessaire.

Au Sénégal, les vertisols de la moyenne vallée, sans structure fine de surface, avec caractère de salure en profondeur, devraient être réservés aux cultures supportant l'irrigation par submersion.

Au Niger, dans les sols vertiques des terrasses du fleuve, il y a une certaine corrélation entre la valeur de la conductivité électrique du sol et le rendement potentiel de la canne à sucre irriguée.

XI

CARTES DES SOLS

Documents qui traduisent la localisation des sols, leurs répartitions, éventuellement leurs aptitudes.

1. TYPES DE CARTES

En fonction de l'objectif, est choisi le type de carte, son échelle et son degré de précision.

Carte pédologique de reconnaissance :

— Sans nécessiter un document topographique précis, elle est réalisée à partir d'une observation attentive des photos aériennes et d'observations de terrain, le long d'itinéraires déterminés.

Carte pédologique détaillée :

— Elle s'appuie sur un fond topographique correct, sur l'étude des photo-aériennes et un grand nombre d'observations de terrain. Les limites doivent être précises, le degré de pureté des unités élevé. Ce sont des cartes à grande échelle (1/20 000 et plus).

Carte de reconnaissance détaillée :

— Elle emprunte aux deux précédentes. Une cartographie détaillée est effectuée dans les zones « intéressantes » sur le plan agricole.

Les cartes pédologiques sont des documents de valeur scientifique, à partir desquels peuvent être élaborés des documents thématiques, telles les cartes d'aptitudes et de vocations des sols.

Carte d'aptitude des sols :

— L'aptitude des sols est déterminée par (1) l'ensemble des caractères actuels d'un sol qui sont susceptibles de réagir sur la production des végétaux cultivés. Ils comprennent : profondeur utile, eau utilisable, calcaire, salinité, pH, hétérogénéité et pierrosité, instabilité structurale, excès d'eau, pente et érodibilité, état sanitaire, toxicité et carence, comportement mécanique, etc...

Carte de vocation des sols :

— L'agronome établit souvent une carte de vocation des sols à partir de la carte d'aptitude (notion purement pédologique), mais en tenant compte des interférences dues à un ensemble de facteurs non pédologiques (économie, sociologie, etc.).

Un autre document est souvent réalisé pour comprendre les relations homme-milieu naturel : c'est la **carte d'occupation des sols.**

2. UNITES CARTOGRAPHIQUES

2.1. Unité simple (Rf. CPCS, 1965) (2) :

— Unité cartographique représentant un sol homogène ne présentant que des variations minimes par rapport à un profil caractéristique.

L'unité reconnue couvre au moins 80 % de la surface considérée.

2.2. Unité complexe (Rf. CPCS, 1965) :

— Unité cartographique ne correspondant pas à des unités de classification, mais permettant de rendre compte de certains aspects de la distribution des sols lorsque l'échelle de la carte est insuffisante pour faire apparaître des unités simples.

On peut distinguer :

La juxtaposition des sols (Rf. CPCS, 1965) :

— C'est un ensemble de sols dont les limites sont trop imbriquées pour être représentées à l'échelle de la carte.

La séquence de sols (Rf. CPCS, 1965) :

— C'est un ensemble de sols dont la succession se retrouve constamment dans un ordre déterminé, sans qu'il y ait lien génétique apparent entre eux.

La chaîne de sols (Rf. CPCS, 1965) :

— C'est un ensemble de sols liés génétiquement, chacun d'eux ayant reçu des autres certains de ses éléments constituants.

(1) D'après GEPPA : Groupe d'Etude des Problèmes de Pédologie appliquée.

(2) CPCS : Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols.

3. RELATIONS : ÉCHELLE - CLASSIFICATION - UTILISATION

(d'après le Comité Français de Cartographie)

Echelle	Appellation de l'échelle	Niveau de la classification	Utilisation
1/5 000 000 1/2 500 000 1/1 000 000	Petite	groupes et sous-groupes	Cartes d'ensemble pour planification nationale
1/200 000 1/100 000 1/50 000	Moyenne	Familles, parfois séries	Carte d'inventaire des sols pour planification régionale et grands aménagements
1/25 000 1/20 000 1/10 000 1/5 000	Grande	Série, phase et type selon les cas	Cartes pour interventions, détail de petites zones, introduction de cultures nouvelles
> 1/2 500	Plans		

4. RELATIONS : ÉCHELLES/SURFACES

Echelle	Surface représentée sur la carte par		
	un carré de 1 cm²	une carte de 55 × 55 cm	un format 21 × 27 cm
1/5 000 000	250 000 ha	750 000 000 ha	142 000 000 ha
1/1 000 000	10 000 ha	30 250 000 ha	5 670 000 ha
1/250 000	625 ha	1 800 000 ha	355 000 ha
1/100 000	100 ha	300 000 ha	56 700 ha
1/50 000	25 ha	75 000 ha	12 500 ha
1/20 000	4 ha	12 000 ha	2 260 ha
1/10 000	1 ha	3 000 ha	560 ha
1/5 000	25 a	750 ha	140 ha

5. RELATIONS : ÉCHELLE DEMANDÉE PAR NOMBRE DE SONDAGES À L'HECTARE

Echelle	Plus petite surface représentée sur la carte s = 0,25 cm²	Nombre de sondages par hectare nécessaire selon les conditions de travail du pédologue			
		Mauvaises K = 1	Moyennes		Bonnes K = 20
			K = 5	K = 10	
1/100 000e	25 ha	1/25	1/125	1/250	1/500
1/50 000e	6,25 ha	1/6,25	1/30	1/60	—
1/20 000e	1 ha	1	1/5	1/10	—
1/10 000e	25 a	4	1	—	—
1/5 000e	6,25 a	16	3	—	—

K représente l'efficience pédologique : gain de temps d'observations et d'analyse obtenu par l'emploi des méthodes de la pédologie moderne (M. Boulaine).

CHAPITRE VI

LA CONSERVATION DES SOLS

1. GÉNÉRALITÉS

1.1. Définition.

« Conserver un sol » consiste à le défendre contre l'érosion due soit à la pluie, soit aux vents, soit aux cours d'eau, en réalisant à la fois :

— **sa conservation matérielle**, à l'aide de techniques capables de s'opposer à l'entraînement de ses éléments par le vent et l'eau,

— **sa conservation biologique**, à l'aide de techniques capables de maintenir un équilibre « minéralisation, synthèse organique » favorable à sa capacité de résistance à l'érosion (autant qu'à sa fertilité).

1.2. Pertes de terre — Equation de WISCHMEIER (1959).

L'intensité de l'érosion peut se caractériser par la mesure des pertes de terre subies par les sols.

Celles-ci peuvent s'estimer à l'aide de l'**équation universelle de perte de terre de WISCHMEIER**, mise au point par le service américain de conservation des sols :

$$A = R\ (K.\ LS.C.P.)$$ où :

A = perte de terre (en tonnes courtes américaines par acre, ou tonnes métriques par hectare);

R = indice-pluie, caractérisant l'agressivité de la pluie. Il s'exprime dans les mêmes unités que A; c'est le seul terme du second membre de l'équation ayant une dimension (toutes choses égales par ailleurs, A est proportionnelle à R); généralement on utilise un indice-pluie moyen annuel et A représente alors la perte de terre moyenne annuelle durant la période de référence;

K = indice-sol, mesurant la plus ou moins grande susceptibilité du sol à l'érosion;

LS = indice-pente, permettant de comparer les conditions topographiques locales à des conditions standard; il met en jeu à la fois degré et longueur de pente;

C = indice-culture, qui tient compte à la fois de la protection offerte par le couvert végétal et les pratiques culturales qui lui sont associées ;

P = indice-remède (conservation du sol), caractérisant les pratiques anti-érosives expressément prévues dans ce but.

Puisqu'elle intègre l'ensemble des facteurs de l'érosion pluviale, cette équation permet non seulement d'estimer les pertes de terre mais également de déterminer les mesures anti-érosives qui devront être appliquées pour ne pas dépasser un seuil de perte de terre au-delà duquel l'érosion deviendrait dangereuse.

Il est nécessaire, pour pouvoir l'utiliser dans la pratique, de déterminer au préalable la valeur des indices pour les différentes régions d'Afrique, en particulier celle de l'indice-sol.

C'est pourquoi des dispositifs ont été implantés à Madagascar (CTFT), Niger (CTFT), Burkina Faso (CTFT, ORSTOM, IRAT), Sénégal (ORSTOM, IRAT), Côte d'Ivoire (ORSTOM, IRAT), Bénin (ORSTOM, FAO).

Les dispositifs expérimentaux comportent une parcelle, dite deb Wischmeier, de dimensions standard (22 x 4,5 m) sur laquelle on mesure les pertes en terre après avoir fixé la valeur des autres indices de l'indice-sol : la détermination de la valeur de K se fait sur une parcelle traitée comme une jachère nue, et travaille chaque année dans le sens de la pente. Sa valeur se calcule à partir de la formule $K = \frac{A}{R.SL}$

C'est ainsi qu'à la station d'Allokoto, au Niger, on trouve de cette façon pour l'indice-sol, K, une valeur de 0,07 correspondant à un sol faiblement érodible. A Gampela, au Burkina-Faso, le calcul donne pour K une valeur de 0,25, correspondant à un sol nettement plus fragile.

N.B. — En Afrique au sud du Sahara et à Madagascar, la quasi-totalité de la perte annuelle enregistrée dans une station donnée est imputable, d'une manière très générale, aux violentes averses du début de la saison des pluies. Dans ces mêmes pays, du fait de la grande variabilité du régime des pluies d'une année à l'autre, les calculs de pertes moyennes ne sont valables qu'à la condition de pouvoir étaler les observations sur une période suffisamment longue (10 ans au minimum).

1.3. Indice climatique de Fournier. Carte du danger d'érosion.

Fournier a montré qu'il existait une corrélation uniquement applicable dans le cas de grands bassins versants entre le transport solide et le coefficient :

$$C = \frac{p^2}{P}, \text{ où :}$$

p : pluviosité du mois le plus pluvieux de l'année (en mm)
P : pluviosité totale de l'année (en mm).

Il en a déduit les éléments qui lui ont servi à l'établissement d'une carte des dangers de l'érosion en Afrique, au sud du Sahara. Cette carte présente la variation, à travers le continent africain, de l'intensité de **l'érosion normale**. Celle-ci est exprimée en tonnes de terre arrachées en moyenne par km² et par an.

On s'aperçoit que cette dégradation dépasse très souvent 1 000 tonnes par km² et par an et qu'elle peut même dépasser 2 000 tonnes dans certaines régions comme la Guinée, le centre du Niger, l'Ethiopie et la plus grande partie de Madagascar.

2. TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION

2.1. Erosion éolienne.

2.1.1. BRISE-VENT ET HAIES

Inertes ou vivants, ils permettent de limiter la vitesse du vent.

Les plus répandus sont les brise-vent constitués par des lignes de plantation : arbres, arbustes; certaines plantes herbacées (graminées par exemple) peuvent être utilisées en haies.

Si l'on prend comme critère une réduction de 20 % de la vitesse du vent, on peut considérer que la zone protégée s'étend sur une distance égale à 1 fois la hauteur du brise-vent du côté au vent et 10 à 15 fois du côté sous le vent (cf. chap. II, 2.1.).

Pour pouvoir être utilisées comme brise-vent les essences forestières doivent posséder les caractéristiques suivantes :

— des feuilles persistantes;
— une croissance rapide;
— un encombrement réduit;
— un système radiculaire tel que la concurrence des racines soit limitée.

Les principales espèces utilisées sont :

— certaines graminées comme les andropogonon, *Panicum, Chloris gayana ;*
— des arbustes comme le tsinginy (Solanum sp) et le *Cajanus indicus* (Madagascar) ;
— des arbres enfin comme le cyprès (Méditerranée), *Casuarina equisetifolia* (Sénégal-Madagascar), *Acacia cyanophylla* (Méditerranée) ; *Acacia arabica* (Niger-Madagascar), *Parkinsonia aculeata* (Méditerranée-Madagascar) *Tamarix articulata* (Méditerranée), *Albizzia lebbeck* (Cameroun), *Dalbergia Sisso* (Cameroun), *Cassia siamea* (Sénégal-Cameroun), *Anacardium occidentale* (Sénégal-Cameroun).

2.1.2. COUVERTURE DU SOL

— Paillage (couverture morte), cf. 2.2.2.1.2.
— Couverture vivante durant la saison sèche au moyen de plantes-engrais verts (graminées — cf. 2.2.1.2.2.) dans la mesure où le climat le permet.

N. B. — Il convient souvent de combiner la couverture du sol avec l'implantation de haies brise-vent. Dans tous les cas, il est nécessaire d'appliquer également des techniques bioculturales concourant au maintien d'une bonne structure du sol (cf. 2.2.1.2.2.).

2.1.3. TECHNIQUES CULTURALES

— Labour en grosses mottes.
— Bandes de culture de largeur inférieure à la largeur critique.

2.2. Erosion pluviale.

La lutte contre l'érosion pluviale repose :

— d'une part, sur **l'utilisation rationnelle des terrains** (classement)
— d'autre part, sur des actions portant sur les divers facteurs de la formule de Wischmeier.
  - **moyens d'action biologique** intéressant la couverture végétale, la susceptibilité du sol et la perméabilité (la couverture vivante du sol assurant l'entretien, l'amélioration ou la reconstitution de la structure et donc de la porosité du sol);
  - **moyens d'action mécanique,** réduisant ou supprimant l'incidence de la pente : façons culturales suivant les courbes de niveau, terrasses, banquettes, réseaux anti-érosifs.

2.2.1. MOYENS D'ACTION BIOLOGIQUE

2.2.1.1. Techniques sylvo-pastorales.

— Protection de la végétation naturelle (en particulier, lutte préventive contre les feux de brousse tardifs).
— Protection des terrains de parcours pastoral : gestion, amélioration, rotation du parcours, charge en bétail.
— Protection de la forêt et reboisement (Voir *Mémento du forestier*).

2.2.1.2. Techniques bio-culturales.

2.2.1.2.1. En cultures arbustives ou arborescentes

Application de l'une des techniques suivantes ou d'une combinaison de plusieurs d'entre elles :

— Maintien de la couverture naturelle et rabattage périodique : procédé surtout valable dans les plantations d'espèces à tempérament forestier (hévéa, palmier à huile, cacaoyer);
— Création d'une couverture artificielle constituée par des plantes améliorantes (légumineuses) ou des plantes à enracinement dense (graminées, dont le chevelu racinaire retient le sol et l'enrichit en humus), conduites suivant une méthode propre à chaque culture;
— Sarclage sélectif visant à ne conserver et multiplier, parmi la couverture spontanée, que les espèces compatibles avec les exigences de la plante cultivée : méthode d'application délicate;
— Sarclage total, **immédiatement** suivi d'un paillage (cf. 2.2.2.1.2.) devant être soigneusement entretenu.

2.2.1.2.2. En cultures annuelles

Techniques basées sur deux principes :

1er principe : Occupation maximale du sol dans le temps et dans l'espace (effet de la couverture vivante du sol).

2e principe : Entretien et amélioration des réserves organiques du sol (effet sur la stabilité structurale).

Ces deux principes doivent présider à l'élaboration de la rotation qui :

— non seulement proportionnera la durée totale des cultures (compte tenu des exigences alimentaires de chacune d'elles) à l'efficience des moyens de régénération propres à entretenir les réserves organiques du sol et sa fertilité,

— mais encore sera conçue avec le souci de couvrir le sol au mieux dans le temps et l'espace.

L'occupation maximale du sol se réalise avant tout :

— par des semis denses et précoces (avec emploi d'engrais et protection phytosanitaire) ;

— par des cultures associées dans le temps et dans l'espace :

- semis de plantes de couverture intercalaires ;
- succession de deux cycles de culture dans la même saison, si le régime des pluies le permet, (dont l'un peut être un engrais vert) ;
- échelonnement des cycles culturaux couvrant les sols l'un après l'autre (céréale, manioc, banane).

N. B. — S'il existe un réseau anti-érosif, il est commode d'asseoir l'assolement dans les bandes de terrain délimitées par les ouvrages du réseau, en recherchant l'alternance de bandes portant une culture sarclée avec des bandes couvertes par un engrais vert, une jachère ou une prairie temporaire (réduction du ruissellement grâce, surtout, aux graminées); le cycle des cultures doit être combiné de telle façon que, lorsqu'une bande est labourée, les bandes voisines soient densément couvertes. On réalise ainsi un assolement en bandes alternées faisant bénéficier indirectement les bandes nues ou sarclées de l'effet de couverture des bandes voisines.

L'entretien et l'amélioration des réserves organiques se réalisent par :

— l'utilisation sur place des résidus de culture ;

— les jachères.

La culture d'un **engrais vert** est difficile à préconiser en milieu traditionnel vu les problèmes posés par son enfouissement (aucune possibilité matérielle pour l'effectuer et dangers d'érosion lors de l'enfouissement en saison des pluies). Si toutefois on cultive un engrais vert il doit réaliser une couverture rapide et parfaite du sol, fournir une matière verte abondante et facile à enfouir ; ses effets varient en fonction du degré de maturité (rapport C/N) et de l'espèce végétale ; du point de vue antiérosif, la meilleure époque d'enfouissement se situe en saison des pluies (couverture prolongée, matière plus abondante, décomposition plus facile) ; il convient de veiller à ce que les

dérayures du labour d'enfouissement ne soient pas trop longues (danger d'érosion par ruissellement) et soient perpendiculaires au sens de la pente. Pour le choix des plantes de couverture, se reporter au chapitre XIII « Pâturages tropicaux ».

Une jachère (terre au repos, hors culture et hors pâturage, partie intégrante de la rotation) ne peut, dans les meilleures conditions, que rétablir tout au plus la teneur en matière organique antérieure à la culture; des essais ont cependant démontré qu'en culture sans engrais son emploi est préférable à celui des engrais verts; l'équilibre humique peut se rétablir rapidement (2 à 3 ans) si la terre n'est pas trop fatiguée (intérêt des jachères fréquentes mais plus courtes). A la remise en culture, le labour d'enfouissement est préférable au brûlis, mais nécessite des précautions pour éviter l'érosion en nappe.

Une prairie temporaire peut être :

— naturelle (jachère pâturable) ou,
— artificielle : couverture enrichie ou cultivée.

Une prairie temporaire artificielle procure une couverture plus dense que la jachère, d'où une meilleure protection et un apport accru de matière organique permettant de réduire la place dans la rotation. La levée et l'installation de la végétation doivent être rapides afin d'éviter autant que possible l'érosion pendant la phase d'implantation. Il faut encore, en cas de pâturage, s'assurer que le piétinement des animaux n'a pas d'effets préjudiciables sur la structure du sol et prévoir une charge en bétail convenable.

Fumures de fond organiques.

Les techniques précédentes ne permettent généralement que l'entretien des réserves organiques. Pour accroître celles-ci, il faut recourir à des fumures organiques : fumiers naturels ou artificiels, gadoues, enfouissement d'herbes de savane, enfouissement d'un engrais vert hors rotation.

N. B. — **Amendements calcaires.** Rationnellement pratiqués, ces amendements contribuent à stabiliser la structure par la formation d'un humate de chaux stable. Autrement, ils peuvent aboutir à une destruction intempestive de matière organique.

Lorsque l'acidification du sol résulte principalement du lessivage des bases, l'amendement doit s'accompagner du maintien d'une couverture vivante aussi dense que possible durant la saison pluvieuse.

2.2.2. MOYENS D'ACTION MÉCANIQUE

2.2.2.1. Façons culturales et traitement superficiel du sol.

2.2.2.1.1. Façons culturales

Précautions à prendre.

Selon leur nature et leur mode d'exécution, les façons culturales peuvent, par leurs effets mécaniques, physiques ou, indirectement,

biologiques, contribuer à détériorer la structure du sol tout autant qu'à l'améliorer. On peut être amené à interdire certaines façons culturales ou l'emploi de certains instruments, ou, plus couramment, à énoncer des règles auxquelles seront subordonnées l'exécution des façons et l'utilisation des instruments. Sous ce genre de réserves, les façons citées ci-après sont douées de propriétés antiérosives qui peuvent, le cas échéant, se combiner avec celles d'un réseau.

Labour à plat en courbes de niveau.

Tout indiqué dans les bandes de terrain délimitées par les ouvrages d'une infrastructure anti-érosive. Les sillons contribuent à réduire le ruissellement et de plus, si le labour s'effectue en commençant par la lisière inférieure des bandes et en versant constamment la terre vers l'aval, la pente moyenne diminuera d'année en année, de telle sorte que les bandes évolueront peu à peu vers la forme de terrasses approximativement horizontales où le ruissellement s'atténuera. La correction de l'inégalité de largeur d'une même bande conduit à laisser des « lentilles » sous couvert permanent. Sur de très faibles pentes, ce mode de labour peut permettre de se passer d'un réseau anti-érosif, pourvu que le risque d'érosion soit modéré.

Labour en billons suivant les courbes de niveau.

Effectué en adossant l'une contre l'autre deux bandes de labour adjacentes (charrues à soc et versoir, billonneuses, butteuses), ce labour suivant les courbes de niveau peut, dans certains cas, supprimer le ruissellement. Il est caractérisé par :

— la distance entre crêtes des billons (1 à 1,50 m);
— la hauteur des billons : du fond de l'interbillon à la crête des billons.

Cette dernière peut être limitée par la profondeur du sol. Elle sera fonction de la culture projetée, mais devra être telle (0,25 à 0,40 m en moyenne) que la capacité des interbillons soit suffisante pour éviter le débordement par-dessus les billons lors des fortes pluies. Lorsque les lignes de billons sont longues, il est nécessaire de cloisonner les interbillons de façon à remédier aux conséquences des défauts locaux d'horizontalité. Cette façon culturale, outre qu'elle peut supprimer le ruissellement, accroît la réserve hydrique du sol (rétention, infiltration); en région à faible pluviosité ou à pluviosité irrégulière, on pourra augmenter cette faculté en cloisonnant plus serré (3 à 4 m). Mieux que le labour à plat suivant les courbes de niveau, le labour en billons dispense, dans des cas particuliers, de prévoir un aménagement anti-érosif.

Sous-solage.

Il est rarement économique. Il est à faire en terrain suffisament sec pour éclater le niveau qui gêne le développement des racines et l'infiltration.

Il consiste à attaquer le sol en profondeur à l'aide de sous-soleuses attelées à des tracteurs de 35 à 200 ch selon la compacité du sol, le nombre de dents et la profondeur de travail. Dans les conditions où le labour est un facteur de dégradation du sol, le sous-solage est susceptible de lui être

substitué (cas de terres légères) ou de jouer un rôle correctif (cas où la formation d'une semelle de labour entrave l'infiltration). Il permet aussi d'approfondir progressivement le profil cultural (réduction du ruissellement par accroissement de l'infiltration). Il doit être effectué selon les courbes de niveau.

Semis direct : il consiste à effectuer le semis dans l'état où se trouve le sol depuis la récolte précédente. Le travail du sol se limite à assembler la ligne de semis ou l'emplacement des poquets. La préparation du sol est donc très localisée et s'effectue simultanément au semis. Les adventices sont combattues par des herbicides de pré- et postémergence.

Par cette technique on conserve la porosité biologique du sol et le « mulch » fermé de résidus de la récolte précédente et d'adventices.

2.2.2.1.2. Traitement superficiel du sol

Paillage : Consiste à recouvrir les interlignes culturaux d'une couche de 2 à 10 cm de matières végétales mortes (paillis ou « mulch »). Des cultures peuvent être pratiquées spécialement pour fournir du paillis ; il faut alors entretenir la fertilité des terrains supportant ces cultures, sous peine de les exposer à un épuisement rapide, voire à la dégradation. Procédé excellent par nature, mais toujours coûteux (transport), il ne se justifie que si sa rentabilité est certaine.

Technique des bandes permanentes d'absorption : implique, en l'absence d'un réseau anti-érosif, une alternance, uniquement dans l'espace, de bandes cultivées et de bandes sous couverture végétale permanente, herbacée ou buissonnante, jouant un rôle d'absorption et de frein au ruissellement. Ces bandes sont disposées suivant les courbes de niveau, ou bien rectilignes mais très proches de l'horizontalité (sur pentes très modérées et dans des situations peu exposées à l'érosion). Procédé ne s'appliquant qu'à de petites superficies ne faisant pas partie d'un ensemble aménageable, très efficace, à recommander là où il pleut plus de 800 mm et permettant la formation de terrasses.

2.2.2.2. Aménagements anti-érosifs.

2.2.2.2.1. Terrasses horizontales

Elles peuvent être construites directement ou progressivement.

A. — CONSTRUCTION DIRECTE

Pour mémoire. Procédé très ancien nécessitant des travaux considérables et ne se justifiant, à la rigueur, que pour établir des cultures riches sur des terrains à forte pente lorsque des terrains plus propices font totalement défaut.

B. — CONSTRUCTION PROGRESSIVE

Principe.

On dispose des **obstacles** horizontaux ou à faible pente longitudinale, appelés encore **« lignes d'arrêt de labour »**. Puis, à l'intérieur des bandes de terrain ainsi délimitées, les labours et les piochages sont effectués en versant ou en tirant toujours vers le bas. Dans

chaque bande, les façons culturales et l'érosion en nappe (modérée par des pratiques culturales convenables, cf. 2.2.1.2. p. 248 et 2.2.2.1. p. 250) déterminent une reptation du sol vers l'aval, de telle sorte que le terrain tend à s'aplanir progressivement; les bandes sont séparees par des dénivellations à fixer par des plantations.

La largeur des futures terrasses est fonction :
— de la pente et du danger d'érosion initiaux;
— de la hauteur que les talus des terrasses ne devront pas dépasser en fin d'évolution;
— du profil pédologique, compte tenu des nécessités et des possibilités d'amélioration constante de la partie amont qui se vide au bénéfice de la partie aval.

La pente longitudinale est réglée par celle donnée à l'obstacle de base; elle est fonction de la perméabilité (l'écoulement final doit être prévu et étudié comme pour les réseaux. Cf. 2.2.2.2.4.).

Nature des obstacles ou lignes d'arrêt.

D'après leurs conséquences sur le ruissellement, les obstacles se divisent en deux catégories :
— Les obstacles filtres;
— Les obstacles absolus.

● **Obstacles filtres :**

Ils arrêtent une partie des colluvions jusqu'au moment où l'évolution du terrain s'achève et où cesse le ruissellement. Leur utilisation suppose que le ruissellement et l'érosion du versant ne sont pas trop graves.

Exemples :
— doubles dérayures constituées par deux sillons de charrue séparés par un intervalle filtre de 1 à 2 mètres (Planche 1, croquis a);
— billons (Pl. 1 croq. b);
— bandes d'absorption enherbées de 2 m de largeur, alternant avec les bandes labourées;
— tas de pierres ou de détritus végétaux;
— haies isohypses (cf. Pl. 1 croq. c) avec dénivelées de 1 à 2 m;
— rangs d'arbres fruitiers ou fourragers.

● **Obstacles absolus :**
— fossés isohypses ou à très légère pente; de section triangulaire, carrée, rectangulaire ou légèrement trapézoïdale; avec bourrelet amont ou aval armé de végétation (herbe à éléphant); le plus souvent, l'aménagement est réglé par la hauteur des futurs talus (Pl. 1 croq. d);
— banquettes. (Cf. p. 258).

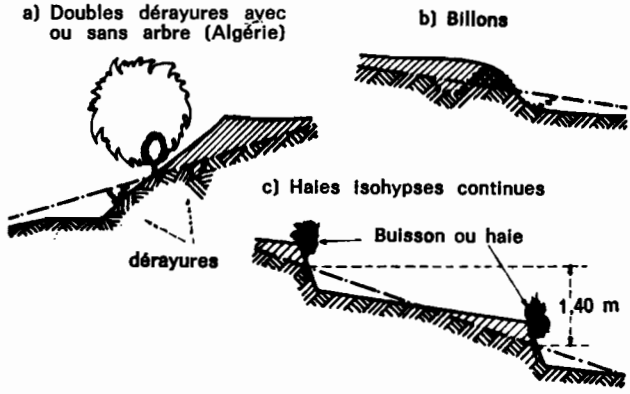
2.2.2.2.2. Réseaux de défense proprement dits

En règle générale, le terrain cultivé conservera sa pente naturelle. Les réseaux de défense sont calculés dans cette hypothèse même si, dans certains cas, ils sont destinés à servir de base à l'évolution de la pente.

Planche 1

TERRASSES DE FORMATION PROGRESSIVE

1. OBSTACLES FILTRES



2. OBSTACLES ABSOLUS

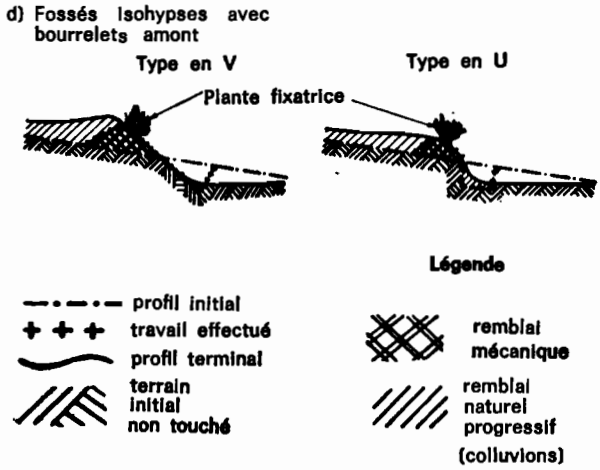
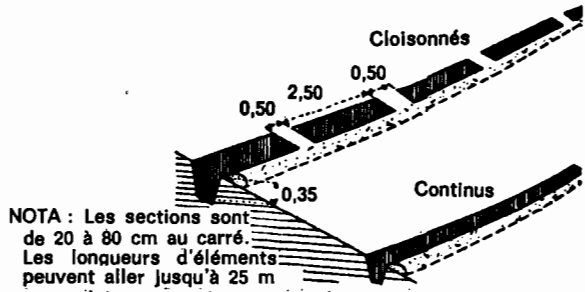


Planche 2

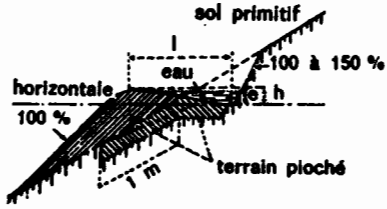
TYPES DE FOSSES (OU TRANCHEES) ET GRADINS

a) Fossés isohypses cloisonnés et continus d'après TONDEUR



NOTA : Les sections sont de 20 à 80 cm au carré. Les longueurs d'éléments peuvent aller jusqu'à 25 m avec cloisons en chicanes sur le versant.

b) Gradin à profil en V
gradin l = 0,60 à 1,50 m



$$l = 4\,h$$

$$e = \frac{2\,h}{3}$$

c) Gradin à profil en trapèze

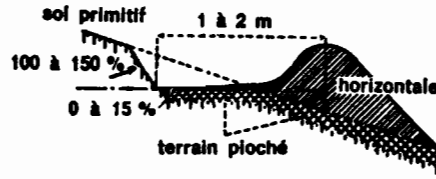
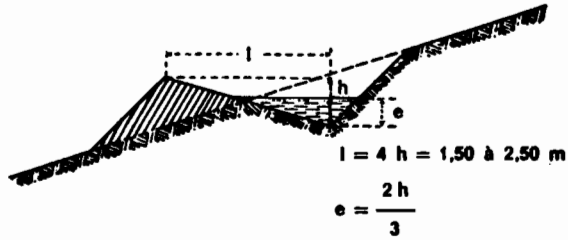


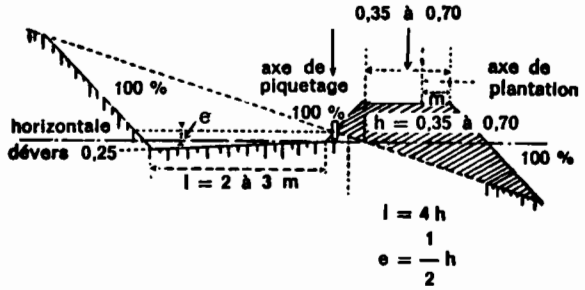
Planche 3

TYPES DE BANQUETTES SUR PENTES SUPERIEURES A 10 %

a) Banquette en V (Algérie)
sur pente > 25 %



b) Banquette à profil normal (Algérie)
sur pente > 25 %



c) Banquette à talus coupé (Algérie)
sur pente de 10 à 25 %

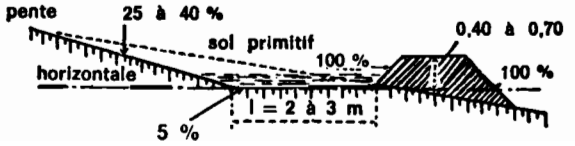
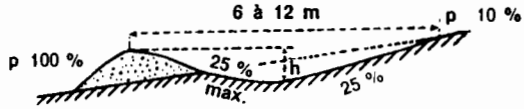


Planche 4

TYPES DE BANQUETTES SUR PENTES INFERIEURES A 10 %

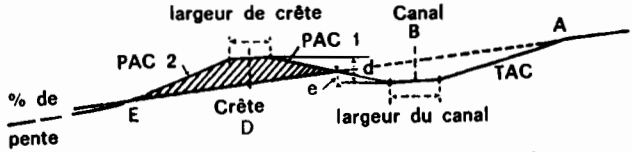
SCHEMA A

BANQUETTE AMORTIE, OU DE PLANTATION (ALGERIE)



SCHEMA B

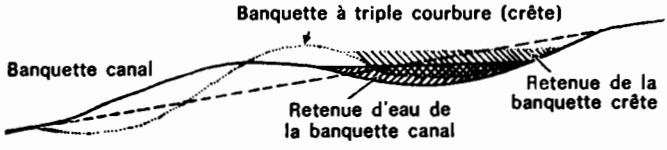
BANQUETTE DE CULTURE,
OU « TERRACE » CLASSIQUE AMERICAINE



Voir planche 9 pour les dimensions

SCHEMA C

COMPARAISON DES BANQUETTES
« CRETE » ET « CANAL »



L'établissement rationnel d'un réseau repose sur :

— le choix du système de défense en fonction du régime des pluies,
— le nature du sol et son mode d'utilisation,
— le choix d'un type d'ouvrage,
— l'étude de l'écartement des ouvrages,
— l'étude de leur pente longitudinale, de leur longueur, de leur section et du volume d'eau retenu,
— l'étude de l'implantation générale du réseau.

A. — SYSTEMES DE DEFENSE :

Système d'infiltration (ou d'absorption). Ensemble d'ouvrages ayant pour rôle de provoquer l'infiltration totale. Ils ne conviennent que sur des sols perméables, sous des climats pas trop pluvieux (maximum : 750 mm, en plus sur sols filtrants : 1 500 mm au Brésil, 2 000 mm au Gabon).

Système de diversion. Ensemble d'ouvrages ayant pour rôle, après avoir brisé la force vive du ruissellement déversant et arrêté l'érosion, d'infiltrer une partie de l'eau et d'évacuer le reste.

B. — TYPES D'OUVRAGES

a. Ouvrages creusés : fossés et gradins (Pl. 2) :

Fossés (ou tranchées) : profil en U,
Gradins : profil en V ou en trapèze.
Relativement profonds par rapport à leur largeur, les fossés et gradins interdisent le passage des engins et gênent celui des animaux. Ils peuvent être tronçonnés à des longueurs variant de 2 à 25 m, les cloisons étant en chicanes sur le versant.

b. Banquettes (Pl. 3 et 4) :

Une banquette présente :
— un talus amont de déblai,
— un fond,
— un talus aval de remblai, ou « bourrelet ».

Elle se caractérise par son profil :

— profil déversé ou en V (= large gradin); bonne résistance aux dégâts sur fortes pentes, mais faible absorption;
— profil ordinaire, ou normal (Algérie) (= banquette de plantation en Tunisie), prévu pour la plantation d'arbres sur le bourrelet (1); il forme un obstacle non franchissable; la variante à talus coupé (Algérie) permet la culture du talus amont;
— profil amorti (= banquette de plantation en Algérie) se rapprochant de celui de la « terrace » américaine; il peut être utilisé sur les faibles déclivités pour amorcer la construction progressive d'une terrasse (cf. p. 252) ;

(1) Dans ce cas, le sol doit être ameubli par un sous-solage préalable, à l'emplacement du bourrelet.

Planche 5

TYPES DE BOURRELETS ET LEVEES DE TERRE

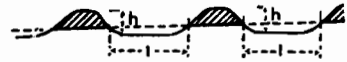
SCHEMA A

DIVERS GABARITS DE BOURRELETS (ALGERIE)

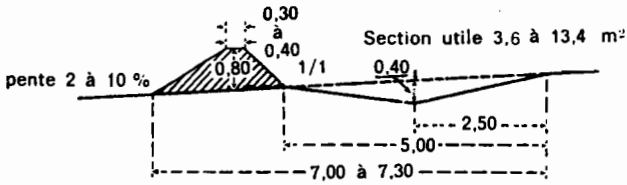


h = 1 à 2 m
l = 3 à 5 m

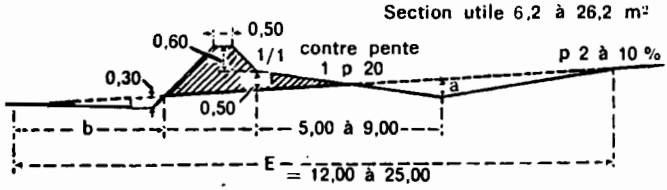
PROFIL TRAVAILLE POUR « BOISEMENT STEPPIQUE » (ALGERIE)



TABIA (TUNISIE) SCHEMA B



TERRASSE - TABIA (TUNISIE) SCHEMA C



— profil très amorti, utilisé sur faibles pentes; selon que la terre est prise seulement à l'amont ou simultanément à l'amont et à l'aval, on obtient une « banquette canal » ou une « banquette crête » ou « banquette à triple courbure »; cette dernière présente une hauteur de bourrelet supérieure et, de ce fait, est utilisée pour les réseaux d'infiltration totale en Afrique Occidentale et Centrale.

Elle permet la culture mécanisée.

c. Bourrelets et levées de terre

Utilisés, en pays secs, au-dessous de 5 % ou 3 % de pente naturelle, pour former de véritables digues retenant l'eau, quelquefois jusqu'au pied du bourrelet situé en amont (Pl. 5).

C. — FORMULES D'ÉCARTEMENT DES OUVRAGES

L'écartement ressort de formules empiriques donnant la valeur (H) de la dénivelée entre deux ouvrages successifs en fonction de la pente (p) du terrain considérée comme le facteur essentiel de l'érosion.

Une fonction H = f (p) caractérise une région climatique, pour une espèce de sol et un système de culture définis. Elle est sujette à des corrections importantes (jusqu'à ± 20 % et même 25 %) pour tenir compte de la variabilité des sols et des systèmes de culture possibles dans la région.

La formule de Ramser est la plus couramment employée :

$$H = 0{,}305 \ (a + \frac{p}{b})$$

H en mètres; p %; a et b coefficients (exemple voir Pl. 9, tab. II).

Faute de dispositifs expérimentaux, l'agronome d'Afrique tropicale pourra réajuster cette formule par tâtonnement en se servant, en première approximation, des courbes représentées sur les planches 6 (espacements verticaux ou dénivelées) et 7 (espacements horizontaux), compte tenu des conditions locales de pluviométrie (cf. Pl. 8), de susceptibilité des sols et de système de culture.

Dans le cas d'ouvrages d'infiltration, l'écartement doit être resserré, s'il y a lieu, après examen :

— des conditions de pluviométrie, d'infiltration et de ruissellement,
— de la retenue utile des profils d'ouvrages possibles (exemples de profils — Voir Pl. 9, Tab. I).

D. — PENTE LONGITUDINALE, longueur, section des ouvrages

a) Ouvrages d'infiltration.

Ces ouvrages étant destinés à provoquer l'infiltration totale, leur pente longitudinale est nulle. De ce fait, il n'existe que peu ou pas de servitudes de longueur ou de débouchés aux voies d'eau naturelles.

Planche 6

ESPACEMENTS VERTICAUX DES OUVRAGES DIVERS EN AFRIQUE

Références Afrique tropicale

1. Utilisation de la formule Ramser : $H = 0{,}305\ (2 + \frac{P}{4})$
   Recherche Française, Congo, Guinée
2. Utilisation de la formule de Ramser en conditions moins dangereuses :
   $$H = 0{,}305\ (2 + \frac{P}{3})$$
3. Sols très érodés, écartement très réduit, Burkina-Faso (Ouahigouya) Mali (Sikasso)
4. Autre proposition pour Burkina-Faso (Ouahigouya)
5. Autre propostion pour Burkina-Faso (Boulbi)

6-7-8. Propositions diverses pour Boukombe (Bénin) et rapports inédits

7 bis. Banquettes de Dabou (Côte d'Ivoire) et haies isohypses au Zaïre.

AFRIQUE DU SUD

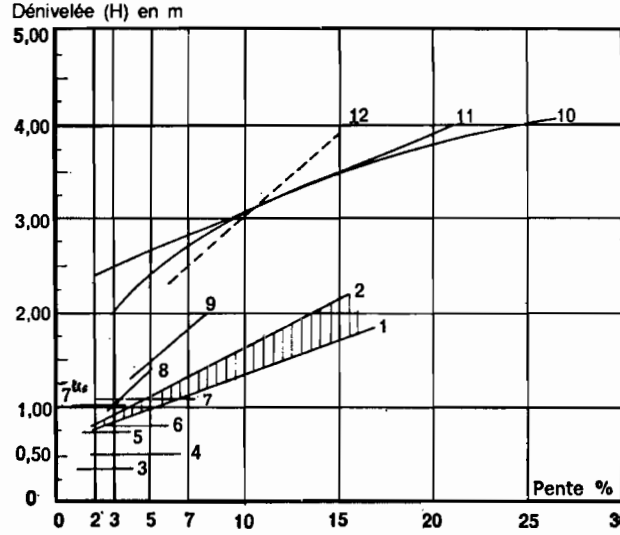
9. RAMSER modifié : $H = 305\ (2 + \frac{P}{1{,}7})$

AFRIQUE DU NORD

10. Formule de Saccardy - Algérie - $H^3 = 260\ p + 10$
    (pour pentes de 30 %)
11. Formule de Bugeat - Tunisie - $H = 2{,}20 + 8\ p$

POUR MEMOIRE

12. Formule de l'Etat de Washington : $H = 0{,}805\ (4 + \frac{P}{1{,}7})$

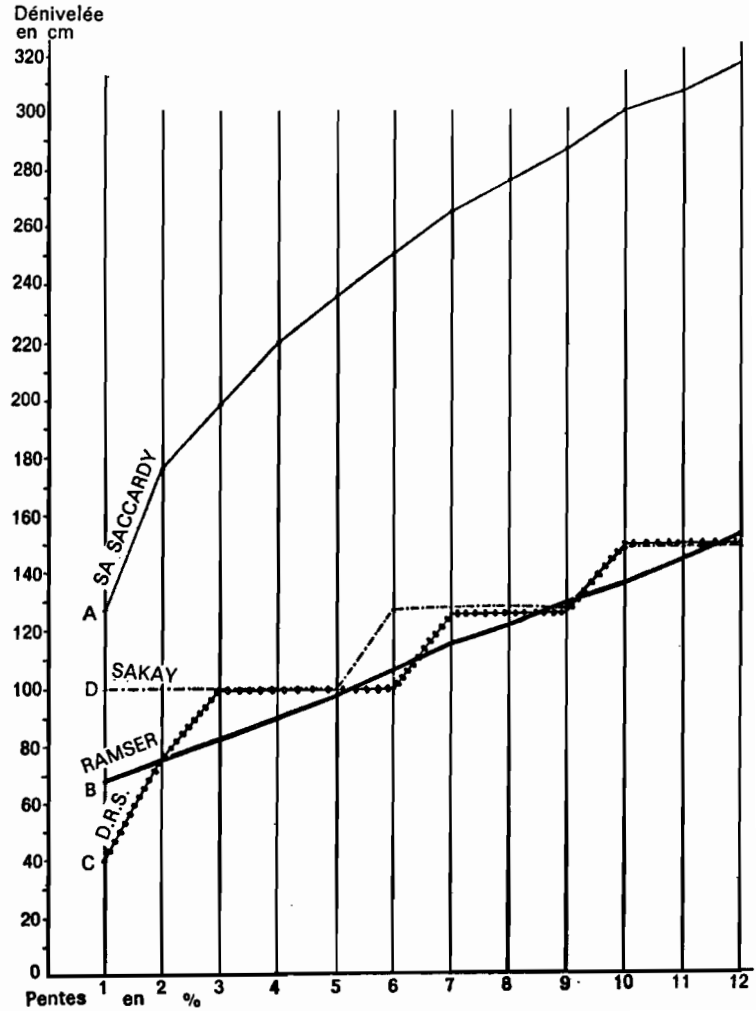


* Formules avec p en m/m.

Planche 6 bis

CARACTÉRISTIQUES DES RÉSEAUX ANTI-ÉROSIFS

Formules classiques et normes B.D.P.A. - SAKAY



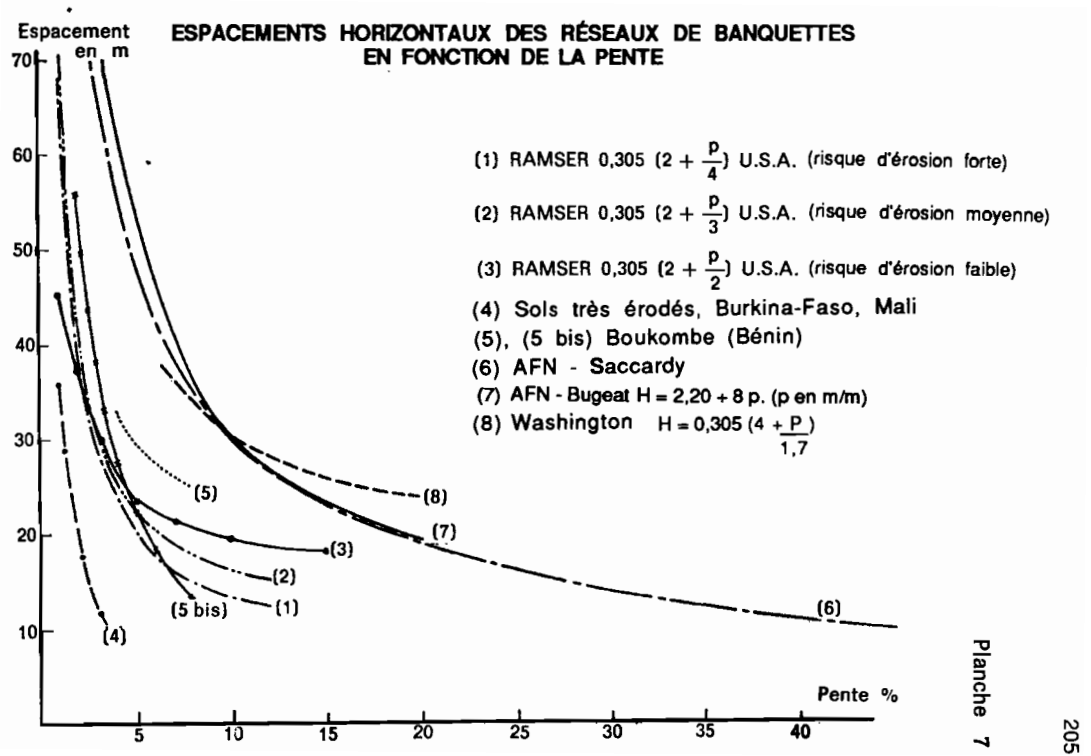

ESPACEMENTS HORIZONTAUX DES RÉSEAUX DE BANQUETTES
EN FONCTION DE LA PENTE
Espacement en m
70
60
50
40
30
20
10
5
10
15
20
25
30
35
40
Pente %
(1) RAMSER 0,305 (2 + p/4) U.S.A. (risque d'érosion forte)
(2) RAMSER 0,305 (2 + p/3) U.S.A. (risque d'érosion moyenne)
(3) RAMSER 0,305 (2 + p/2) U.S.A. (risque d'érosion faible)
(4) Sols très érodés, Burkina-Faso, Mali
(5), (5 bis) Boukombe (Bénin)
(6) AFN - Saccardy
(7) AFN - Bugeat H = 2,20 + 8 p. (p en m/m)
(8) Washington H = 0,305 (4 + P/1,7)
(1)
(2)
(3)
(4)
(5)
(5 bis)
(6)
(7)
(8)

Planche 7

Planche 8

CARACTÉRISTIQUES PLUVIALES EN AFRIQUE ET A MADAGASCAR

Régions de climats	Climats méditerranéens	Climats soudano-sahéliens	Climats guinéens équatoriaux	Climats de Madagascar
Emploi de la formule de Ramser ou autre (voir planche 6)	Courbes 9, 10 11, 12 (et 1,2)	Courbes 3 à 8	Courbes 1 et 2	(Toutes courbes)
Pluie moyenne en millimètres :				
— annuelle	200 à 1 500	600 à 1 300	1 000 à 3 000	500 à 3 000
— mois le plus pluvieux	50 à 250	150 à 300	200 à 400	140 à 400
Maxima journaliers (en mm)	270	100 à 150	150 à 300	100 à 250 (500**)
Intensités durées caractéristiques en millimètres à la minute :				
Pluies de 5 minutes				
● Fréquence décennale	3	3,5 à 3,7	3 à 4	3 à 4
● Fréquence cinquantenaire	4 (?)	4,5	5 (?)	5 (?)
Pluies de 30 minutes				
● Fréquence décennale	1,8	1,9	1,1 à 2	2-4 (**)
● Fréquence cinquantenaire	—	2,5	—	
Pluies de 1 heure				
● Fréquence décennale	1,0	1,25	1,5	0,7
● Fréquence cinquantenaire	—	1,8	—	—

(**) Tornades

La longueur peut se combiner uniquement avec le parcellaire agricole.

Par contre, le nivellement et l'exécution doivent être particulièrement soignés pour éviter les débordements aux points bas. Sur fortes pentes, en culture non mécanisée, le fractionnement de la longueur est communément employé (tronçons ou cloisons intermédiaires) précisément pour éviter les cheminements de l'eau dus aux irrégularités de nivellement.

Généralement, les calculs des volumes d'eau à retenir tiennent compte des crues décennales. Prévoir plus fort serait trop onéreux, alors que les débordements causés par les crues extraordinaires sont acceptables sur des ouvrages déjà tassés et consolidés.

b) **Ouvrages de diversion.**

Pour évacuer l'eau non infiltrée, on prévoit une légère pente longitudinale variable le long de l'ouvrage et ne dépassant généralement pas 5 ‰ : en vue de conserver le maximum d'eau d'infiltration et de contrôler la vitesse d'écoulement, la pente est minime ou nulle au départ et progressivement croissante jusqu'au débouché de l'ouvrage (ex. Pl. 10).

La longueur permise est conditionnée par l'équilibre entre :

— la totalisation du ruissellement en amont de l'ouvrage,

— l'écoulement à la sortie, avec la vitesse-limite permise selon la formule :

$$Q = L \times I \times \frac{I}{60\,000} = s.v$$

où : Q est le débit en mètres cubes/seconde à la sortie en régime maximum, après le temps de concentration qui n'est jamais très long.

L : la longueur totale de l'ouvrage en mètres.

I : la largeur moyenne du champ amont, en mètres (elle peut être représentée par $\frac{H}{P}$ quotient de la dénivelée par la pente moyenne).

I : l'intensité moyenne de la pluie critique retenue en millimètres par minute.

s : la section utile de l'ouvrage en mètres carrés.

v : la vitesse moyenne de l'eau dans le canal en mètres-seconde (vitesse-limite).

Connaissant I, I et s, il suffit pour calculer L en première approximation de se fixer la vitesse-limite ou de la calculer, en fonction de la section et de la pente longitudinale de l'ouvrage, à l'aide de la formule de Bazin :

$$v = a\sqrt{p.}$$

Tableau I

TABLE DE CALCUL D'UNE BANQUETTE
(Voir planche

Banquette - Canal d'absorption pour

Pente du champ	Distance (m) de A à			Profondeur (m)		Section
	B	D	E	Crête d	Crête c	Déblais
2	2,10	5,25	7,2	0,36	0,18	0,46
4	2,46	6,0	8,4	0,36	0,24	0,68
6	2,85	6,3	9,0	0,39	0,24	0,81
8	3,3	6,45	9,6	0,36	0,27	0,85
10	3,9	6,6	9,6	0,36	0,30	0,94
12	3,6	6,0	9,3	0,39	0,33	1,01
(*) 14	3,9	6,3	9,0	0,39	0,27	0,95
(*) 15	3,6	6,0	8,4	0,39	0,30	1,00

(*) La crête et PAC2 doivent être enherbés.

Tableau II

FORMULE D'ESPACEMENT

Pente en pourcentage	1	2	3	4	5	6
Intervalle vertical en m	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35	1,50
Intervalle horizontal en m	75,0	45.0	35,1	30,0	27,0	24,9
Longueur à l'ha en m	130,5	218,0	280,0	326,0	364,0	394,0
Surface pour 1 km (ha)	7,5	4,53	3,52	3,02	2,70	2,50

Recommandations générales pour la diversion :

1. Utiliser une série de pentes longitudinales de 2,5 ‰ à 5 ‰.
2. Les pentes peuvent être variées pour rendre les banquettes parallèles autant que possible.
3. Régler le ruissellement à des vitesses non érosives.
4. Ne pas tolérer de creux de plus de 6 cm.

D'ABSORPTION OU « DE NIVEAU »

4 - Schéma B)

retenir 50,8 mm de ruissellement.

transversale finale (m^2)	Pente moyenne			Largeur (m)	
Remblais	TAC b/h	PAC 1 b/h	PAC 2 b/h	Canal	Crête
0,50	6/1	6/1	6/1	2,4	0,9
0,68	5/1	6/1	6/1	2,4	0,9
0,87	5/1	6/1	5/1	2,4	0,9
0,82	5/1	6/1	5/1	1,8	0,9
0,92	5/1	5/1	4/1	1,8	0,9
0,95	4/1	4/1	4/1	1,8	0,9
1,02	4/1	4/1	3,5/1	1,8	0,9
0,99	3,5/1	3,5/1	2,5/1	1,8	0,9

$$Hm = 0{,}305 \left(\frac{P}{2} + 2\right)$$

TAC : talus amont du canal.
PAC_1 : pente amont de la crête.
PAC_2 : pente aval de la crête.
b : base.
h : hauteur.

7	8	9	10	11	12	13	14	15
1,65	1,80	1,95	2,10	2,25	2,40	2,55	2,70	2,85
23,7	22,5	21,6	21,0	20,4	20,1	19,8	19,2	18,9
415,0	436,0	454,0	467,0	482,0	487,0	495,0	512,0	520,0
2,39	2,24	2,16	2,12	2,05	2,02	1,99	1,93	1,90

5. Généralement la première banquette est à un intervalle du sommet de la pente.
6. Les banquettes aboutissent à des exutoires naturels ou construits enherbés qui évacuent l'eau à des vitesses admises.
7. Plantations et cultures parallèles aux banquettes.
8. On peut varier les dimensions $\pm$ 10 %.
9. Aucun chenal secondaire ne doit être placé au-dessous de la crête.

p = pente longitudinale (en m/m).

$$a = \frac{87\,R}{\sqrt{R} + \gamma}.$$

$$R = \frac{\text{Section mouillée en m}^2}{\text{Périmètre mouillé en m}}$$

γ = coefficient de rugosité des parois.

La valeur de γ est fréquemment de 1,3 à 1,75. Sur certains limons et sols tropicaux très fins et lisses elle peut descendre à 1,10.

Des vitesses de 0,20 à 0,50 m/s (et même jusqu'à 0,80) sont possibles.

La valeur trouvée pour L en première approximation sera ensuite ajustée, en modifiant convenablement la **section**, de façon à tenir compte de la situation des exutoires : mieux vaut allonger un ouvrage pour le faire déverser dans un ravin existant, plutôt que de creuser un collecteur artificiel.

Pratiquement, les longueurs maxima utilisées sont les suivantes :

Sections	Longueur maximum (m)	Exemples
Faibles gabarits	150 à 200	Fossés du Burkina-Faso
Gabarits moyens	400	Banquettes AFN
Gabarits larges	500 à 600 (exceptionnellement)	« Terraces » américaines

E. — REGLES GENERALES D'INSTALLATION

Les réseaux normalement cultivables sont installés sur les versants, compte tenu de l'utilisation préalable de tous les procédés culturaux propices à la conservation des sols. Ils découpent le terrain en terrasses dites à lit de pente, dont les lignes séparatives sont de niveau ou voisines des lignes de niveau.

a) **Réseaux de diversion.**

Il s'agit d'organiser l'écoulement depuis les lignes de crête ou de croupe en direction des thalwegs existants. Le plan d'un réseau doit être établi sur une cartographie détaillée compte tenu, pour chaque parcelle, de toutes les spécifications du sol, de manière à choisir d'abord les types possibles de correction par parcelle, puis agencer le système d'ensemble en vue de réduire finalement le nombre de types.

Planche 10

LONGUEURS ET PENTES DES BANQUETTES DE DIVERSION ADOPTEES DANS DIVERS PAYS

——————> Sens de l'écoulement.

États-Unis

Longueurs généralement adoptées (pays à forte pluviosité) :

0,08 %	0,16 %	0,25 %	0,33 %	Total : 488 m
122 m	122 m	122 m	122 m	

Sur les sols très bons et absorbants :

o	0,08 %	0,16 %	0,25 %	Total : 488 m
122 m	122 m	122 m	122 m	

Enfin, sous les climats peu pluvieux :

o	0,08 %	0,16 %	Total : 456 m
152 m	152 m	152 m	

Cette règle peut être appliquée avec précaution en Afrique tropicale.

Zaïre

Sols lourds et pluviosité forte :

0,04 %	0,08 %	0,17 %	0,33 %	0,5 %	480 Formule 1
90	180	270	360		

0,08 %	0,16 %	0,25 %	0,33 %	480 Formule 2
120	240	360		

Sols perméables, faibles intensités pluviales :

0	0,16 %	0,25 %	0,33 %	480 Formule 3
120	240	360		

0	0,08 %	0,16 %	450
150	300		

0,33 % est un optimum

Afrique occidentale (d'après Fournier)

L : 490 à 550 m; pentes : 0-0,1 - 0,2-0,3 %.

Burkina-Faso

L : 200 m; pente : uniforme 0,2 % (fossés).

Afrique du Nord

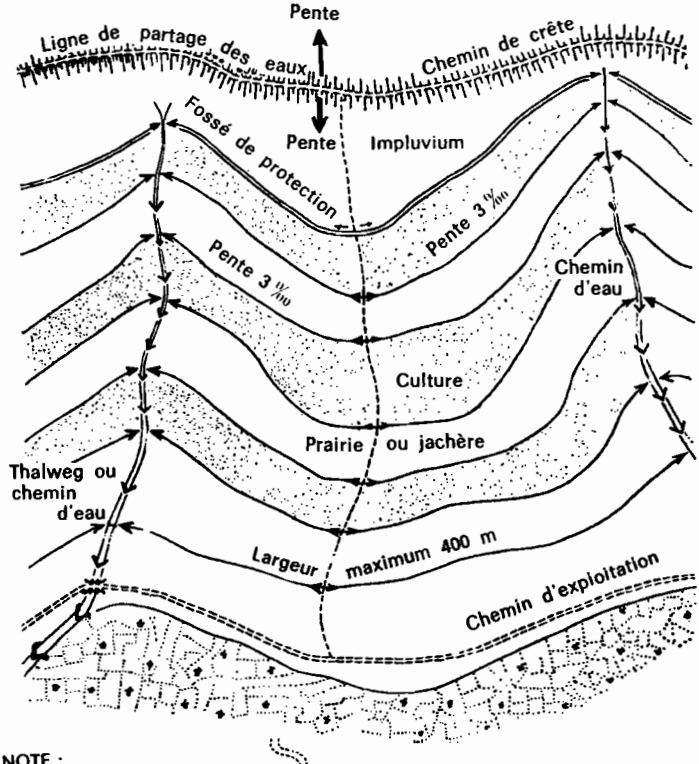
Algérie à peu près uniforme : 0,5 % et 0,3 %; zone sèche.
Tunisie. Pente longitudinale : 0,5 %; longueur : 400 m.

Madagascar

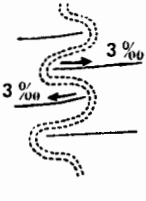
Fossés isohypses et banquettes à 0,5 %; conseillé : 0,2 à 0,3 %.

Planche 11

PLAN THEORIQUE D'UN RESEAU DE DIVERSION
(Madagascar)



NOTE :
S'il y a lieu de prévoir un chemin d'exploitation ou un passage de bœufs du haut en bas du versant, ce tracé est conseillé.



Des fossés de garde ou de protection destinés à contenir les eaux en provenance de terres dominantes impossibles à traiter (cf. Pl. 11) sont souvent à prévoir.

Le réseau d'ouvrages de diversion doit être combiné avec celui des chemins et avec le tracé des exutoires de telle façon que l'exploitation agricole soit toujours aisée. Les chemins ne doivent pas causer de dégâts aux ouvrages, ni recevoir d'eau de ceux-ci.

Si le versant est uniforme, la dénivelée des ouvrages est constante. Sinon, un ouvrage se place juste à l'amont des lignes de changement de pente et l'on ajuste les écartements de part et d'autre de chacune de ces lignes.

Le tracé des ouvrages demande à être redressé afin d'éviter les pointes et les creux gênants pour le passage des engins de culture.

Les parcelles doivent être modelées selon le tracé des chemins et ouvrages.

b) **Réseaux d'infiltration (ou d'absorption).**

Les systèmes de terrassement à infiltration totale utilisent tous les profils possibles :

- sur fortes pentes : terrasses en escalier, fossés et gradins;
- sur faibles pentes : banquettes, bourrelets et levées de terre.

La place des ouvrages est relativement indépendante des exutoires et des chemins d'eau qui vont s'assécher et ne sont conservés que sous une forme réduite.

Le calcul d'un réseau (écartement et section des ouvrages) repose sur l'égalisation du volume des retenues maxima des ouvrages avec le ruissellement de pente des plus gros orages.

Pour l'évaluation de ce ruissellement, il faut, en bonne règle, connaître les courbes d'infiltration potentielle des différentes couches de sol (étude pédologique) et tenir compte des méthodes de culture et des couvertures installées (nécessité de mesures sur parcelles expérimentales).

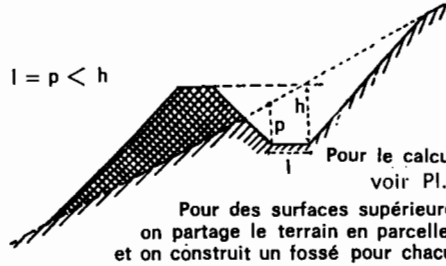
Sur des terres vouées à des plantations forestières ou des prairies, l'écartement des ouvrages peut être surestimé, compte tenu de l'abaissement prévisible du taux de ruissellement après l'installation de la végétation.

Sur les pentes cultivées, les calculs se basent sur la culture la plus exposée au ruissellement, si elle occupe toute la terrasse de pente entre ouvrages, ou sur le coefficient de l'assolement si plusieurs cultures coexistent sur la terrasse.

2.2.2.2.3. Lutte contre l'érosion en ravines

Même en zone couverte de végétation, il existe toujours des exutoires naturels permettant l'écoulement des eaux de ruissellement. Si le sol est mis à nu, ces ruisselets, anormalement grossis et sans

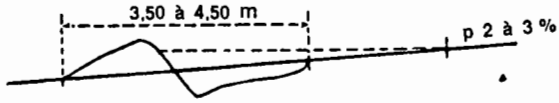
FOSSE DE PROTECTION - Type et dimensions en Algérie



Pour le calcul de p et l voir Pl. 12

Pour des surfaces supérieures à 10 ha, on partage le terrain en parcelles de 10 ha, et on construit un fossé pour chacune d'elles.

FOSSE DE GARDE : fossé anti-érosif doublé au Burkina-Faso



NOTA : Sur les pentes faibles on adopte des banquettes en profil amorti avec talus coupé.

Planche 12

FOSSES DE PROTECTION OU DE GARDE

TABLEAU DES CARACTERISTIQUES DES FOSSES

Profondeur et largeur du fossé p = l pour :

Nature du terrain	Coefficient de ruissellement	Surface de l'impluvium dominant le fossé (en ha)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rocheux argileux	1	0,50	0,76	0,85	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60
Terres en jachère nues .	0,9	0,50	0,65	0,80	0,45	1,05	1,15	1,25	1,35	1,40	1,50
Terrains gazonnés et labourés	0,8	0,45	0,65	0,75	0,90	1,02	1,10	1,20	1,25	1,35	1,45
Terrains broussailleux et gazonnés	0,7	0,40	0,80	0,70	0,85	0,95	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
Terrains bien boisés ou protégés par murettes et éléments de banquettes	0,6	0,35	0,50	0,65	0,75	0,80	0,90	1,00	1,05	1,15	1,25
Pente en long %		1.	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,15	0,15	0,15	0,15

frein, creusent leur lit, se ramifient ou se multiplient en lignes parallèles : c'est l'érosion en ravines (1 à 2 m de profondeur) puis en ravins (plusieurs mètres de profondeur) dont la correction s'intègre normalement dans l'application du plan général d'écoulement des eaux évacuées par les ouvrages d'un réseau de défense.

Cette correction se réalise au moyen de petits ouvrages temporaires (cf. Planches 13 et 14) qui doivent avoir pour effet de permettre l'installation d'une végétation fixatrice des lits et des berges.

2.2.2.2.4. Plan général d'écoulement des eaux de ruissellement

Il a pour objet de tracer les nouvelles conditions de ruissellement après l'installation d'ouvrages anti-érosifs et de prévoir les conditions dans lesquelles doivent être aménagés et fonctionneront :

— les fossés de protection,

— les exutoires naturels ou artificiels recueillant l'eau des ouvrages de défense,

— les chemins d'eau, généralement naturels, où les exutoires se déversent à leur tour et dont l'importance croît avec celle des zones drainées (l'aménagement des exutoires et chemins d'eau précède nécessairement le terrassement des ouvrages tributaires et des fossés de garde).

Son étude exige de prévoir :

— les débits de pointe des crues que devront évacuer les différents canaux d'écoulement; on peut admettre comme temps de récurrence 10 ans pour les ouvrages temporaires et 50 ans pour les structures permanentes; à défaut de la possibilité de mesures précises, il faudra souvent procéder par approximation, en s'aidant de l'observation directe, pour estimer ces débits;

— la forme et la section des canaux propres à les évacuer (cf. chapitre VIII « Irrigation et drainage » Rappel de notions d'hydraulique).

2.3. Erosion fluviale : protection des berges de rivières

Principes de défense :

— éloigner le courant des rives concaves au moyen : soit d'épis en gabions ou en lignes de pilotis, soit d'obstacles de fortune,

— redonner de la pente aux berges verticales,

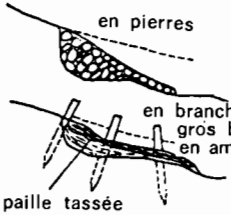
— garnir cette pente de fascines afin de permettre l'installation d'une végétation fixatrice,

— mettre en défens les berges traitées et, au besoin, en interdire l'accès aux animaux au moyen de clôtures.

Planche 13

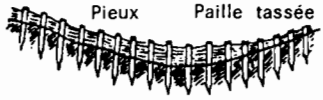
CORRECTION DES RAVINES, OUVRAGES TEMPORAIRES DE THALWEGS
d'après TONDEUR

OBTURATION D'UNE CHUTE DE RAVINE

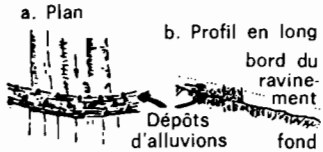


BARRAGE SIMPLE EN PIEUX ET PAILLE

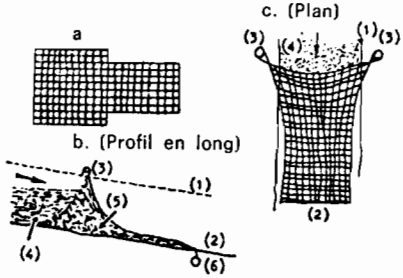
(Profil en travers)



BARRAGE TRIPLE EN PIEUX ET PAILLE

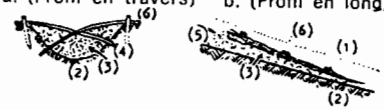


BARRAGE EN TREILLIS METALLIQUE

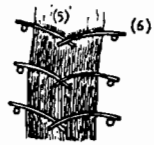


BARRAGE EN PERCHES ET BRANCHAGES A ANCRAGE LATERAL

a. (Profil en travers) b. (Profil en long)



c. Plan

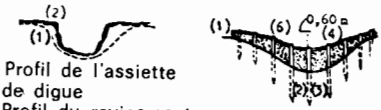


Légendes pour a, b et c :

(1) Bord du ravinement
(2) Fond du ravinement
(3) Paille tassée
(4) Branchages
(5) Alluvions retenues
(6) Pieux et traverses

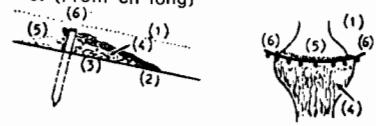
BARRAGES EN PIEUX, PAILLE ET BRANCHAGES

a. (Profil en travers) b. (Profil en travers)



(1) Profil de l'assiette de digue
(2) Profil du ravinement

c. (Profil en long) d. (Plan)



Légende pour b, c et d :

(1) Bord du ravinement
(2) Fond du ravinement
(3) Paille tassée
(4) Branchages
(5) Alluvions retenues
(6) Pieux et traverses

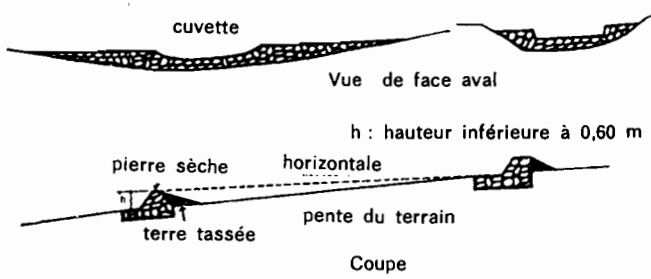
Légende pour b et c :

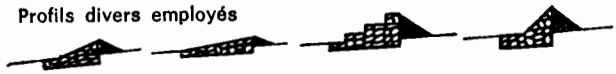
(1) Bord du ravinement
(2) Fond du ravinement
(3) Pieux
(4) Alluvions retenues
(5) Paille et brindilles
(6) Traverse enfouie

Planche 14

CORRECTIONS DES RAVINES (autres petits ouvrages)

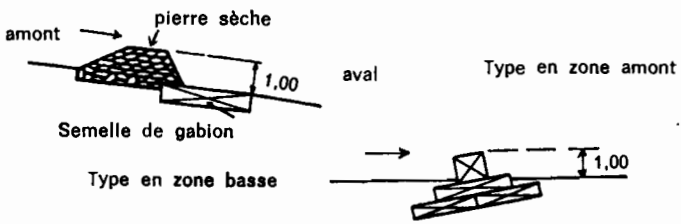
A. PETITS OUVRAGES DE PIERRES SECHES CORRECTION DES MARIGOTS ET MAYOS





h généralement inférieure à 0,60 m exceptionnellement entre 0,60 et 1,00 m

B. UTILISATION DES GABIONS SUR PETITS OUVRAGES



3. ÉTUDE ET EXÉCUTION DES TRAVAUX DE CONSERVATION D'UN PÉRIMÈTRE DÉFINI

3.1. Etudes préliminaires.

Etablissement d'un fond de carte à grande échelle (1/5 000 ou 1/10 000 pour plusieurs milliers d'ha ; 1/2 000 ou 1/2 500 pour plusieurs centaines d'ha) en courbes de niveau (équidistance : 0,30 à 10 m selon morphologie du terrain) indiquant notamment : lignes de crêtes et de croupes, chemins d'eau, certaines données sur les sols. Ce fond de carte servira d'abord à dresser la carte d'occupation actuelle des sols (avec figuration des pistes et sentiers), puis à dresser la carte annexée au projet de travaux.

Etude des sols :

— renseignements à porter sur le fond de carte : types de sols, texture et structure de la partie arable, perméabilité, susceptibilité à l'érosion;

— renseignements à porter sur la carte d'occupation actuelle : signes d'érosion actuelle.

3.2. Etablissement du projet.

— **Classement des terrains** en vue de leur utilisation rationnelle : cultures annuelles, cultures arbustives ou arborescentes, pâturages, engazonnements, boisements.

Très généralement, on peut classer les terres en grandes catégories comme suit :

- de 0 à 2 ou 3 % de pente : terres cultivables, que des méthodes culturales soignées suffisent à protéger de l'érosion, et ne nécessitant de travaux antiérosifs qu'en conditions exceptionnelles;
- de 2 ou 3 % à 12 % de pente : terres cultivables avec travaux antiérosifs permettant encore la grande culture mécanisée;
- de 12 % à 20-25 % de pente : terres cultivables avec travaux antiérosifs ne permettant plus que la culture paysanne aux attelages (bourrelets infranchissables par les tracteurs); conviennent mieux aux prairies et boisements (avec travaux antiérosifs lors de la création) si les conditions socio-économiques le permettent.
- au-dessus de 20 à 25 % de pente : domaine normal des pâtures et des bois; en cas de forte pression démographique, la culture manuelle peut être envisagée.

— **Choix des systèmes de défense** (Cf. p. 258).

— **Choix des types d'ouvrages** (Cf. p. 258).

Pour les conditions de sol franc et perméable, le tableau suivant indique les possibilités générales d'emploi et d'exécution des différents ouvrages de défense mécanique des sols (voir page ci-contre).

Pentes	Terrasses horizontales		Réseaux de défense				
	Construction directe	Evolution progressive	Fossés et éléments	Gradins et éléments	Banquettes	Banquettes évasées	Bourrelets Levées de terre
0 à 3 %	O (f) t	O f	O (f) (t)			f t	(O) t
3 à 12 %	O t	O f	O (f) (t)	O f	O (f) t	f t	O t
12 à 25 %	O t	O f	O (f)	O f	O t	(O) (f) t	O (t)
25 à 50 %	O t		O	O	O t		
> 50 %			O	O			

Légende : + emploi courant
— emploi moins courant

N. B. — Sur pentes de 0 à 3 %, des méthodes culturales soignées suffisent généralement (cf. p. 250).

Exécution : O ouvrier outillage main
f outillage fermier tracté
t tracteurs puissants - engins automoteurs
() moins fréquent

— **Ecartement des ouvrages** (cf. p. 260).

— **Pente longitudinale, longueur et section des ouvrages** (cf. p. 260).

— **Implantation générale** (cf. p. 268).

— **Aménagement des exutoires et plan général d'écoulement** (cf. p. 273).

— **Documents à fournir :**

- Carte : sur le fond de carte préalablement établi (cf. p. 276) figurent, pour chaque catégorie de terrain, l'emplacement, la nature et les spécifications essentielles des ouvrages (au besoin, usage de symboles si l'échelle de la carte ne permet pas une figuration précise des terrains à fortes pentes).
- Croquis détaillés des ouvrages.
- Fiches de calculs.
- Note relative aux techniques culturales de lutte contre l'érosion appropriées aux diverses catégories de terrains, en fonction des cultures prévues.
- Devis descriptif et estimatif des travaux.
- Note sur les moyens à mettre en œuvre.
- Calendrier des travaux (toujours commencer par l'aménagement des exutoires).

3.3. Travaux de boisement, gazonnement, création de pâturages ou de cultures spéciales antiérosives.

Pour mémoire. (Voir *Mémento du Forestier*).

3.4. Travaux spéciaux de défense (terrasses, réseaux et exutoires)

3.4.1. TRACES

— Mise en place générale du réseau d'évacuation; implantation des thalwegs et sorties d'eau, des lignes de croupes et des chemins.

— Implantation des axes des ouvrages d'infiltration ou de dérivation de thalweg à croupe.

Instruments de nivellement : selon la précision souhaitable, emploi de clisimètres-pendules ou de niveaux à lunette.

3.4.2. PIQUETAGE (rendu plus aisé par un nettoyage préalable du terrain).

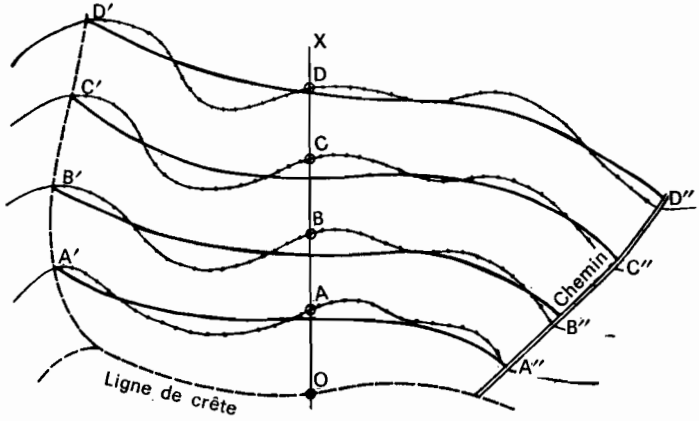
Les modes de matérialisation des tracés sont variables avec les régions et les caractères des ouvrages : piquets, traits de labour, tas de pierres, lignes grattées dans le sol dur, lignes ensemencées.

Les bords extrêmes des exutoires et des fossés de protection se matérialisent par des traits de labour.

3.4.3. PIQUETAGE RAPIDE DES COURBES DE NIVEAU DANS UNE PARTIE DE TERRAIN DE PENTE SENSIBLEMENT UNIFORME

L'opérateur se trouve en station au point O sur une ligne de crête (ou de changement de pente). Il fait piqueter, suivant la demi-droite OX, les points A, B, C, D, tels que :

$$AB = BC = CD = \frac{H}{p} \quad (H = \text{dénivelée},\ p = \text{pente constante})$$



A l'aide d'un niveau à lunette, il vise la mire graduée dressée d'abord en A, puis, en visant constamment sur la graduation initialement lue, il fait déplacer le porte-mire de 10 en 10 mètres de part et d'autre de A, en lui prescrivant après chaque visée de planter un piquet. Une ligne de niveau A'AA'' se trouve ainsi jalonnée. Si celle-ci est trop sinueuse (en pointillé sur la figure), on peut rectifier son tracé à condition de serrer au plus près le tracé initial.

Des aides sont ensuite chargés de piqueter (un piquet tous les 10 mètres) la ligne B'BB'' parallèlement à A'AA'' (interligne constant), puis, de proche en proche, C'CC'' et D'DD''.

3.4.4. TRAVAUX MANUELS

Emploi de pelles et pioches. Un chantier comprend : le chef de chantier, un métreur-pointeur (éventuellement), des surveillants à raison de un par 20 à 25 hommes (parfois 30), un garde camp (matériel), des porteurs d'eau.

0,25 à 1,00 homme-jour au m³ de terre extraite, charges de chantier et d'outillage comprises (procéder à des essais pour établissement du devis).

3.4.5. TRAVAUX AVEC MOYENS FERMIERS

Traction animale :

Outils courants : charrues à socs fixes ou réversibles.

Outils spéciaux : planches à terrasser - pelles à cheval - rateaux terrasseurs.

En général, le prix de revient est nettement moins élevé que dans le cas de travaux manuels.

Traction mécanique :

Outils courants : charrues à socs ou à disques, scarificateurs pour l'ameublissement.

Outils spéciaux : râteaux terrasseurs, niveleuses tractées, pelles à tracteur, charrues tourbillons.

3.4.6. TRAVAUX AVEC MOYENS MECANIQUES PUISSANTS

Usage exceptionnel en Afrique tropicale à réserver pour des projets importants et pour des périmètres protégés.

3.4.7. ENTRETIEN DES OUVRAGES

Très important : Réparer les points faibles, combler les affaissements. Sans entretien les travaux de conservation des sols disparaissent rapidement.

4. CONCLUSION

La conservation de la fertilité du sol et la protection contre les différentes érosions doivent apparaître à l'agronome tropical comme une préoccupation majeure qui met en jeu un ensemble de techniques en vue d'assurer une production régulière et élevée pendant un temps indéfini.

Ces techniques complètent celles déjà à sa disposition : fertilisation, irrigation, drainage...

Elles doivent s'adapter aux conditions climatiques et s'envisager dans le cadre d'aménagement de bassins versants en tenant compte de la vocation des terres :

— ne cultiver que les terres les plus riches et les moins susceptibles à l'érosion ;

— mettre sous couvert permanent les fortes pentes;

— bandes anti-érosives sur les pentes de 4 à 12 % et techniques culturales d'autant plus strictes que les pluies sont fortes et les sols peu profonds ;

— veiller à l'écoulement des eaux excédentaires et au réseau routier,

CHAPITRE VII

FERTILISATION

1. GENERALITES

1.1. La fertilité.

Aptitude d'un sol à produire des récoltes en fonction de ses qualités intrinsèques et des techniques culturales utilisées :

— Fertilité actuelle : aptitude à produire dans les conditions actuelles de culture, qui se mesure par le rendement actuellement obtenu.

— Fertilité potentielle : aptitude à produire dans les conditions optimales de nutrition (par suite de l'action de l'homme sur les facteurs modifiables de la fertilité), qui se mesure par le rendement maximum.

Cette notion de fertilité potentielle dépend des techniques disponibles pour modifier les facteurs limitants et des choix que l'on est amené à faire entre les facteurs modifiables et ceux que l'on accepte comme contrainte.

1.2. Rappel des grandes lois de la fertilisation.

Les grandes lois de la fertilisation sont :

— Loi du minimum ou des facteurs limitants;

— Loi des excédents de rendement moins que proportionnels;

— Loi de la restitution.

1.2.1. LOI DU MINIMUM OU DES FACTEURS LIMITANTS

« Le rendement d'une culture est déterminé par l'élément qui se trouve en plus faible quantité dans les horizons du sol atteints par les racines relativement aux besoins de cette culture. »

D'où la nécessité de connaître pour chaque sol, et en fonction de la culture envisagée, le premier facteur limitant. Sa correction fera apparaître un second facteur limitant qu'il faudra déterminer et corriger; il en apparaîtra alors un troisième, etc. Analyses et expériences doivent amener à la détermination des facteurs limitants successifs.

Le plus souvent, en sols tropicaux, les carences les plus graves sont celles en N (minéralisation rapide des matières organiques) et en P.

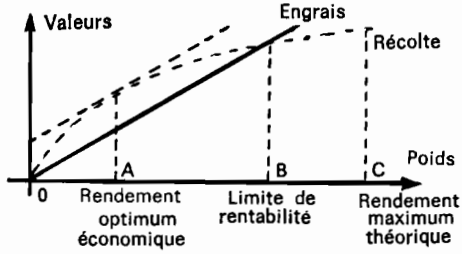
1.2.2. LOI DES EXCEDENTS DE RENDEMENT MOINS OUE PROPORTIONNELS (Mitscherlich)

Cette loi montre l'existence, pour une culture déterminée sur un sol donné :

— **d'un rendement maximum théorique;**

— **d'un rendement maximum économique,** atteint lorsque le supplément de dépense en engrais n'est plus compensé par le supplément de recette à attendre de l'excédent de récolte.

Ces rendements sont faciles à déterminer sur un graphique portant les deux courbes: dépenses (engrais) et recettes (correspondant aux excédents de récolte), en fonction de l'application de doses croissantes.



On voit immédiatement que les doses comprises entre :

— O et A correspondent à un rendement économique **bénéficiaire** croissant;

— A et B correspondent à un rendement économique **bénéficiaire** décroissant;

— B et C correspondent à un rendement économique **déficitaire** croissant.

1.2.3. LOI DE LA RESTITUTION

La restitution au sol des éléments fertilisants exportés par les récoltes est nécessaire, mais non suffisante compte tenu :

— des pertes par lessivage (NO^-_3);

— des corrections de carences éventuelles (Bore);

— de l'utilisation différée des apports d'éléments fertilisants par les engrais (fumure de fond Phospho-Potassique = « Avance au sol »).

— de la dynamique de l'absorption par les plantes en fonction de leur métabolisme (fractionnement de la fumure azotée).

1.3. Processus d'amélioration de la fertilité.

Il découle des grandes lois rappelées ci-dessus.

1.3.1. RECHERCHE DES FACTEURS LIMITANTS

Il sera pratiquement impossible de prévoir une fumure à partir d'un simple bulletin d'analyse de sol tant que n'auront pas été multipliées les études conjointes : analyse de sol, analyse foliaire, observations aux champs, permettant d'obtenir un grand nombre de corrélations entre les résultats sur le terrain et les études de laboratoire.

On peut espérer qu'à partir de celles-ci on pourra par la suite déterminer les traitements à appliquer au vu d'une simple analyse, comme ce peut être le cas dans les pays tempérés. Dans un premier temps on comparera :

— analyses du sol (vérifier l'état physique);
— diagnostic foliaire;
— essais en vases de végétation;
— essais d'orientation en parcelles d'expérimentation; les facteurs limitants autres que la fumure étant contrôlés, ils permettent de déterminer :
  — l'intérêt de la fumure minérale en comparant parcelles sans engrais et parcelles ayant reçu une dose moyenne présumée équilibrée,
  — les éléments déficients en comparant parcelles à fumure équilibrée et parcelles à fumure sans l'élément testé.

1.3.2. ETUDE DE LA CORRECTION DES CARENCES

Pour avoir des indications quantitatives, on doit mettre en place une expérimentation au champ faisant intervenir chaque élément à différentes doses. La courbe de réponse à des doses croissantes d'un élément présente en général un maximum. Par suite des interactions, on doit aussi examiner les effets simultanés des divers éléments; la composition technique optimale de la fumure peut être déterminée par l'étude des réponses obtenues avec les éléments pris deux à deux ou par l'analyse factorielle [1].

REMARQUE. — Pour certaines cultures et dans certaines conditions écologiques et économiques, on peut apporter une correction des carences (en P_2O_5 tout particulièrement) ayant une efficacité sur plusieurs années. On parle alors de « FUMURE DE REDRESSEMENT ».

---

(1) Voir chapitre 19.

A partir d'un potentiel de fertilité donné, soit acquis, soit naturel, on peut corriger par des « FUMURES D'ENTRETIEN » des carences moins graves ou spécifiques.

1.3.3. CALCUL DE RENTABILITE

La fumure ainsi déterminée conduit à l'obtention de rendements maximum. Il faudra, dans un troisième temps, calculer la formule donnant le rendement économique maximum (Cf. 1.2.2 ci-dessus) en considérant le prix de revient de l'unité fertilisante répandue.

Mais cette approche qui suppose que toutes les autres conditions de production restent inchangées est souvent insuffisante car les hypothèses de fertilisation sont souvent liées à des modifications des systèmes de production. Aussi lorsque les apports envisagés se trouvant liés à des effets pluriannuels sur une rotation de culture, à la présence de matériel (restitution des résidus de récolte) ou d'animaux (fumier), etc. . ., on devra alors employer des méthodes d'évaluation plus complètes (cf. chap. XIX) où la fertilisation ne constitue qu'un des éléments nouveaux à prendre en compte.

L'intérêt économique des formules d'engrais concentrés s'affirme lorsque les sources d'approvisionnement sont de plus en plus éloignées : cas le plus général en Afrique.

2. ROLE DES DIVERS ELEMENTS

2.1. Rappel sommaire sur N, P, K.

Avec le carbone, l'azote est l'aliment de base de la plante (constitution des éléments protidiques). C'est le facteur déterminant des rendements par son **influence favorable sur la croissance de l'appareil végétatif.**

Il ne peut être absorbé que sous forme minérale, d'où les différences de rapidité d'effet selon la nature des engrais employés (nitriques, ammoniacaux, organiques).

L'acide phosphorique est abondant dans les organes jeunes des plantes et les semences. Le phosphore joue un double rôle de véhicule et moteur dans la photosynthèse. Facteur de croissance, il favorise le développement radiculaire, est un facteur de précocité, a un rôle essentiel dans la fécondation et la mise à fruit. Elément de qualité.

La potasse est absorbée en quantité importante par les plantes. Elle intervient comme régulateur des fonctions (forte proportion dans les organes jeunes), dans l'assimilation chlorophyllienne (favorise la synthèse et l'accumulation des glucides). Elle permet une meilleure économie de l'eau dans les tissus, leur donne une plus grande rigidité (contre la verse des céréales), accroît la résistance des végétaux aux maladies cryptogamiques. Elément d'équilibre, de santé et de qualité.

Il faut signaler la complémentarité des besoins en phosphore et azote, de même pour N et K.

2.2. Calcium.

Le plus souvent envisagé comme amendement, il joue cependant un rôle non négligeable dans la physiologie de la plante, surtout en fonction des rapports Ca/Mg ou Ca/K. Il existe le plus souvent, même dans les sols tropicaux, en quantité suffisante pour que le problème **calcium-aliment** ne se pose pas. Il n'en est pas de même pour son rôle de conservation de la structure du sol.

2.3. Magnésium.

Elément constitutif de la chlorophylle, il joue un rôle important dans la physiologie. Des carences sont fréquemment observées dans les sols acides ou sableux, surtout sous culture d'arbres fruitiers. Elles peuvent être également dues à un antagonisme avec le potassium et, dans ce cas, disparaissent avec une réduction de la fumure potassique.

Le magnésium peut être apporté au sol sous les formes suivantes :
— En sol acide : calcaire dolomitique ou chaux magnésienne;
— En sol alcalin : sulfate de magnésie.

On peut également l'apporter aux feuilles sous forme de solution en pulvérisation.

2.4. Soufre.

Aliment important pour les végétaux, constituant de certaines protéines et enzymes, activateur de la respiration.

Des carences en soufre sont assez fréquemment constatées dans les sols ferrugineux tropicaux au début de la mise en culture.

D'autre part, le remplacement des engrais peu concentrés (sous forme de sulfates) par l'urée et le phosphate d'ammoniaque dans les pays continentaux peut entraîner l'apparition ou l'aggravation des déficiences en cet élément.

2.5. Sodium.

Indispensable à certaines plantes (coton), il semble suppléer, dans certains cas, le K et libérer celui-ci pour d'autres fonctions plus électives.

Un excès entraîne des modifications défavorables de la structure du sol.

2.6. Oligo-éléments.

Eléments qui exercent une action favorable ou défavorable à très petite dose, tels que : B, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo et Co.

2.6.1. BORE

Il joue un rôle important dans la division des cellules (enracinement, jeunes pousses, germination du pollen, formation des fruits) et la migration des éléments dans la plante, mais lui-même ne migre pas (action catalytique).

Sa carence entraîne des malformations des jeunes organes et de la gommose; elle est souvent provoquée par un excès de calcaire

ou une apparition brutale de la sécheresse et est plus fréquente sur sols légers.

On lutte par application de borax (18 à 35 kg/ha).

2.6.2. FER

Il entre dans la constitution de diverses enzymes et joue un rôle de catalyseur dans la formation de la chlorophylle. Il est peu mobile dans la plante, sa migration étant favorisée par K.

Sa carence apparaît surtout en cultures arbustives; elle peut être due à un excès de calcaire ou de P_2O_5. La lutte est assez difficile, le fer étant mobilisé dans le sol avant d'être absorbé par la plante et l'assimilation par les feuilles ne donnant pas toujours des résultats satisfaisants. L'emploi de sels organiques tels que les chélates de fer, soit dans le sol, soit en solution sur les feuilles, donne les meilleurs résultats.

2.6.3. MANGANESE

Il joue un rôle important dans la formation de la chlorophylle, la réduction des nitrates et la respiration, et sert de catalyseur du métabolisme (système des protéines et de la vitamine C).

Son absorption est favorisée par l'aération du sol, la réaction acide de celui-ci, la présence de K et de fortes quantités d'humus.

Sa carence entraîne des chloroses. On lutte par application dans le sol ou par pulvérisation sur les feuilles de solutions de 0,5 à 2 % de sulfate de manganèse.

Son excès entraîne une carence en Fe.

2.6.4. CUIVRE

Sa carence entraîne une chlorose, surtout sensible en longue période de sécheresse.

2.6.5. ZINC

Sa carence se manifeste surtout en cultures fruitières. On lutte par pulvérisation sur les feuilles de solutions de sulfate de zinc de 0,5 à 1,5 %.

2.6.6. MOLYBDENE

Il joue un rôle dans l'assimilation des nitrates et dans la fixation de l'N de l'air par les nodosités des légumineuses. On lutte par application de molybdate de sodium à raison de 2,5 à 4,5 kg/ha. En excès, il est très toxique.

2.6.7. COBALT

Nécessaire à l'élaboration de la vitamine B 12, un certain taux doit être maintenu dans les prairies.

3. L'HUMUS

L'humus est une matière organique de néoformation résultant à la fois de réactions de décomposition de la matière organique du sol et de synthèse.

Seules les matières organiques d'origine végétale peuvent, par décomposition microbienne, donner de l'humus.

La matière végétale apportée au sol évolue de la façon suivante :
— une fraction importante (60 à 70 %) se minéralise rapidement;
— l'autre fraction s'humifie en donnant une matière organique de néoformation, plus résistante aux actions microbiennes, dite « **humus stable** » qui ne se minéralise qu'au rythme de 1,5 à 2 % par an (Barbier, INRA, Versailles).

A titre indicatif (car les chiffres varient en fonction des conditions climatiques et du niveau de l'équilibre humique considéré) un sol cultivé sur 20 cm de profondeur correspond à l'ha à 2 500-3 000 tonnes de terre; s'il dose 1 % d'humus ses réserves représentent 25 à 30 t/ha et la perte par minéralisation peut être estimée à 500 kg/ha. Cette perte d'humus stable ne peut être compensée que par l'apport d'une quantité de matière organique quatre fois plus importante.

3.1. Besoins.

Ils varient avec :
— la texture du sol,
— la température.

Le niveau souhaitable se situe :
— en sol argileux : entre 1 et 1,5 %;
— en sol sableux : entre 0,8 et 1 %.

La vitesse de minéralisation s'accroît avec la température.

Un taux élevé est difficile (et coûteux) à entretenir, sans être toujours justifié, mais il convient de ne jamais descendre au-dessous du niveau critique car il est difficile de faire remonter le taux de matière humique lorsque s'est installé un nouvel équilibre humique inférieur.

Pour chiffrer les apports nécessaires il faut établir le bilan de l'humus, d'abord pour chaque sol, puis pour l'ensemble de l'exploitation.

3.2. Sources d'humus.

— Le fumier nécessite main-d'œuvre et transport onéreux, mais c'est une source de choix pour l'humus.
— Le paillage exige beaucoup de main-d'œuvre, il assure une meilleure utilisation de l'eau et joue un rôle anti-érosif.
— Les engrais verts apportent plus ou moins de matière végétale, et exigent un effort de traction, pour leur enfouissement.
— La jachère libre est la solution unique en l'absence de moyens de traction animale ou mécanique.
— La jachère pâturée associe restructuration du sol et récupération des déjections animales.
— Le parcage est intéressant par le fait qu'il permet d'utiliser sans beaucoup de travail les déjections du bétail (riches en N et K) sur des points bien déterminés, bien que la production d'humus par tête soit très inférieure à ce qu'elle serait sous forme de fumier.

— Les résidus de récolte, notamment les chaumes de céréales, présentent toujours un grand intérêt; ils sont d'autant plus importants que les rendements sont meilleurs, d'où la notion de rattachement des engrais minéraux à la production de l'humus dans l'exploitation. (On a pu parler « d'engrais minéraux producteurs d'humus »).

Mais d'un point de vue phytosanitaire on a souvent intérêt à éliminer les résidus de récolte récupérables soit par ramassage et « stockage » en fosse sous ombrière naturelle pour humification, soit par brûlage. Cela est d'autant plus impératif que la rotation des cultures sur le terrain est plus rapide (cas des cultures intensives).

Outre leur rôle de générateur d'humus, les engrais organiques restituent ou apportent au sol des matières minérales dont les tableaux suivants donnent un ordre de grandeur :

Apport		Effet			
Matière	Quantité	Humus	N	P_2O_5	K_2O
Fumier (1)	1 t	100 kg	5 kg	3 kg	6 kg
Paille enfouie	1 t	250 kg	10 à 12 kg		
Engrais vert	10 t	400 kg			

Poids moyen de fumier produit annuellement par les animaux

En tonnes :	Europe	Afrique
Cheval ou bœuf de travail	10	2,4
Bœuf à l'engrais à l'étable	16	3,2 (2)
Vache laitière à l'étable	12	
— — sortant	6	
Jeune élève à l'étable	8	
— — sortant	5	
Mouton	0,6	
Porc (3)	1,5	

Analyse de divers fumiers (en ‰)

	Volaille	Mouton	Chèvre	Cheval	Bovin (4)
N	2 à 5	2	1,5	3 à 6	2
P_2O_5	2,5 à 3	1,5	1,5	1,5	1,5
K_2O	1,3 à 1,5	3	3	2 à 5	2
CaO	4	4	2	1,5	4
MgO	1	2	—	1	1
SO_3	2	1,5	—	0,5	0,5

(1) A 5 ‰ de N.
(2) Bœuf parqué la nuit seulement.
(3) Vingt fois son poids de fumier.
(4) A l'étable.

Composition moyenne de quelques engrais organiques naturels

	N total %	P_2O_5 %	K_2O %	CaO %	MgO %	SO_3 %	Acidité équivalente	Basicité équivalente
Sang desséché	13,0	2,0	1,0	0,5	—	—	23	—
Cendres d'os	—	35,0	—	46,0	1,0	0,5	—	+
Poudre d'os	4,0	22,5	—	33,0	0,5	0,5	—	20
Rapures de cornes et sabots ..	14,0	1,0	—	2,5	—	2,0	+	—
Sauterelles séchées	10,0	1,5	0,5	0,5	—	—	+	—
Poudre de poisson	9,5	7,0	—	8,5	0,5	0,5	5	—
Déchets de laine	3,5	0,5	2,0	0,5	—	—	—	—
Cendres de graines de coton(1).	—	5,5	27,0	9,5	5,0	2,5	—	55
Cendres de bois(1)	—	2,0	5,0	32,5	3,5	1,0	—	+
Cabosses de cacao	2,5	1,0	2,0	1,5	0,5	—	—	+
Graines de coton broyées	7,0	3,0	2,0	0,5	0,5	0,5	10	

(1) Ne sont pas, au sens strict du terme, des engrais organiques naturels. Il est cependant apparu intéressant de les faire figurer ici.

4. AMENDEMENTS CALCAIRES

En zone tropicale les doses de calcaire finement broyé à apporter sur sol de faible capacité d'échange, pour élever son pH de une unité sur 18 cm de profondeur, sont, au minimum, en t/ha, de :

Type de sol	pH initial		
	3,5	4,5	5,5
Sableux	0,6	0,6	0,9
Sablo-limoneux		1,1	1,5
Limoneux		1,7	2,2
Argilo-limoneux		2,6	3,2
Argileux		3,4	4,3
Argile de bas-fond	5,6	7,5	8,6

Les amendements calcaires ont pour objet de neutraliser les sols trop acides, de remédier à une nitrification insuffisante et de favoriser l'absorption des éléments fertilisants (notamment de l'acide phosphorique bloqué partiellement sous forme de sels de fer et d'alumine en sol acide).

Les pertes de calcium peuvent être compensées par l'emploi d'engrais tels que : scories, super phosphates, phosphates naturels, cyanamide de chaux, nitrate de chaux, ammonitrate 22 %...

Les amendements calcaires proprement dits dont la valeur neutralisante dépend de leur teneur en CaO et MgO et de la finesse de leur mouture sont de trois origines :

— les produits cuits, c'est-à-dire les chaux proprement dites (Ca O);
— les produits crus, produits de carrière;
— les déchets de certains produits de l'industrie et de l'activité humaine (poudre d'os, ...).

Face à la difficulté de rentabiliser cette opération qui se justifie d'un point de vue agronomique, on peut masquer les inconvénients dus à des sols trop acides (pertes de fertilité) par des fortes fumures N.P.K. qui ne remédient pas à la dégradation des sols.

Poids nécessaire pour obtenir une unité d'élément minéral (kg)

	N	P_2O_5	K_2O
Sang desséché	7,7	50	100
Cendres d'os	—	2,9	—
Poudre d'os	25	4,5	—
Rapures de cornes et sabots	7	100	—
Sauterelles séchées	10	70	200
Poudre de poisson	10,5	14,5	—
Déchets de laine	28,5	200	50
Cendres de graines de coton	—	18,0	4
Cendres de bois	—	50	20
Cabosses de cacao	40	100	50
Graines de coton broyées	14	33	50

5. LES ENGRAIS

5.1. Classification.

Les engrais peuvent être constitués par un seul corps ou sel apportant un seul élément fertilisant (N ou P ou K) ou exceptionnellement deux éléments fertilisants. Ce sont alors des **engrais simples** caractérisés par leur teneur minima en élément fertilisant.

Les engrais composés, au contraire, contiennent au moins deux éléments fertilisants principaux, apportés par des corps différents. On les désigne au moyen d'une formule de 2 ou 3 nombres indiquant chacun la quantité d'élément fertilisant contenue dans 100 kg d'engrais et dans l'ordre N.P.K., exprimés en N, P_2O_5 et K_2O. Exemple : 10-10-20. Ces trois chiffres indiquent l'équilibre des divers fertilisants dans l'engrais et leur somme de dosage. La réglementation fixe à 18 % la richesse totale minimum en éléments fertilisants simples.

Les engrais composés sont classés suivant le procédé de fabrication de la façon suivante :

— **Engrais composés de mélanges** obtenus par broyage et mélange intime de 2 ou plusieurs engrais simples, sans véritable combinaison chimique :
  - Les engrais ternaires contiennent les trois éléments de base.
  - Les engrais binaires n'en contiennent que deux : P et K ou N et P.

— **Engrais organiques** dissous, ternaires, à 15-25 % d'unités fertilisantes totales.

— **Engrais complexes** obtenus par voie de réaction chimique. Le plus souvent ternaires, ils peuvent être binaires (N + P), leur formule est riche ou très riche, ils contiennent des sels mettant le phosphore et la potasse à la disposition de la plante sous une forme très assimilable.

Classement suivant la concentration :

— engrais à faible dosage : 15 à 25 unités/100 kg
— engrais à dosage moyen : 25 à 40 unités/100 kg
— engrais concentrés : plus de 40 unités/100 kg

A côté des engrais classiques il faut signaler l'apparition des engrais-retard (par ex. l'urée à enrobage de soufre) libérant progressivement les éléments nutritifs et celle des insecticides engrais.

5.2. Finesse et hygroscopicité.

Les engrais sont classés suivant la finesse, c'est-à-dire le numéro du tamis au travers duquel l'engrais passe. Les granulés sont de plus en plus employés pour leur hygroscopicité moindre, d'où leur meilleure facilité d'épandage.

5.2.1. TAMIS

Le numéro (n) d'un tamis correspond au nombre de fils qu'il comporte par pouce français (27 mm). La maille est une dimension (linéaire) égale à 1/n de pouce; la définition est la même en Angleterre ou en Amérique, mais le pouce anglais est de 25,4 mm.

Tamis français		Tamis américain série Tyler	
N° du tamis (en mailles)	Ouverture du côté (en mm)	N° du tamis (en mailles)	Ouverture (en mm)
300	0,053		
200	0,075	200	0,074
150	0,100	150	0,104
100	0,150	100	0,147
20	0,850	20	0,833
12	1,65	10	1,651
8	2,31	8	2,362
6	3,30	6	3,327
5	4,60	4	4,699
1	21,60	1 1/2	18,850

On peut également se référer aux normes AFNOR X 11501, X 11502, X 11503.

5.2.2. HYGROSCOPICITE

Certains corps peuvent absorber la vapeur d'eau de l'atmosphère. Ils sont hygroscopiques, d'autant plus que la surface de l'interface augmente. Ainsi les engrais en poudre sont plus rapidement pris en masse que les engrais granulés.

Les valeurs limites de l'humidité de l'air au-dessus desquelles il y a absorption de vapeur d'eau sont les suivantes pour les principaux engrais :

5.2.2.1. *Corps simples.*

Composés purs		Humidité relative de l'air au-dessus de laquelle l'engrais absorbe de l'eau		
Nom	Formule	20°C	30°C	40°C
Nitrate de calcium	$Ca(NO_3)_2 4H_2O$	55,5	46,7	35,5
Nitrate d'ammonium	NH_4NO_3	66,9	59,4	52,5
Nitrate de sodium	$NaNO_3$	77,1	72,4	70,1
Urée	$CO(NH_2)_2$	80,0	72,5	68,0
Chlorure d'ammonium	NH_4Cl	79,3	77,2	73,7
Sulfate d'ammonium	$(NH_4)_2SO_4$	81,0	79,2	78,2
Nitrate de potassium	KNO_3	92,7	90,5	87,9
Chlorure de potassium	KCl	85,7	84,0	81,2
Sulfate de potassium	K_2SO_4	98,5	96,3	95,7
Phosphate monoammonique	$NH_4H_2PO_4$	91,7	91,6	90,3
Phosphate monopotassique	KH_2PO_4	96,2	92,9	92,9
Phosphate monocalcique	$Ca(H_2PO_4)_2$	94,1	94,7	94,5

Le nitrate de calcium, le nitrate d'ammonium sont des produits fortement hygroscopiques. Le phosphate monocalcique, par contre, n'est pas hygroscopique.

5.2.2.2. *Mélanges.*

L'hygroscopicité d'un mélange est, en général, supérieure à celle du composant le plus hygroscopique.

	Humidité relative de l'air au-dessus de laquelle l'engrais absorbe de l'eau
Urée + nitrate de potasse	65,2
Urée + phosphate monocalcique	65,1
Nitrate de sodium + nitrate de potassium	64,5
Sulfate d'ammoniaque + nitrate d'ammoniaque	62,3
Nitrate d'ammoniaque + nitrate de potassium	59,9
Urée + chlorure d'ammoniaque	57,9
Urée + sulfate d'ammoniaque	56,4
Nitrate d'ammoniaque + nitrate de sodium	46,3
Nitrate de sodium + urée	45,6
Nitrate d'ammoniaque + phosphate monocalcique	36,4
Nitrate de calcium + nitrate de sodium	37,7
Nitrate de calcium + nitrate de potassium	31,4
Nitrate d'ammoniaque + nitrate de calcium	23,5
Nitrate d'ammoniaque + urée	18,1
Nitrate de potassium + phosphate monocalcique	87,8
Phosphate monoammonique + sulfate de potasse	79,0
Nitrate de potassium + sulfate de chaux	76,1

Dans certains ouvrages, on parle de coefficient d'hygroscopicité, c'est la différence entre 100 et l'humidité relative de l'air au moment où sa tension de vapeur est égale à la tension de vapeur d'une solution saturée d'engrais.

5.3. Acidité et alcalinité.

Certains engrais n'ont aucun effet sur le pH du sol, d'autres, par contre, de par leur composition chimique et la présence plus ou moins grande de cations ou d'ions H libres, sont susceptibles d'acidifier ou au contraire de neutraliser le sol.

Acidification ou neutralisation exprimée en kg de CO_3Ca pour 100 kg de produit utilisé

	Acidité équivalente	Basicité équivalente
Engrais azotés		
Ammoniaque anhydre 82,2 % N	148	
Nitrate d'ammoniaque 33,5 % N	60	
Sulfate d'ammoniaque 20,5 % N	110	
Phosphate monoammonique 11 % N.	59	
Phosphate diammonique 16,5 % N ..	88	
Cyanamide 22 % N		63
Nitrate de potasse 14 % N		25
Nitrate de soude 16 % N		29
Urée 45 % N	75	
Engrais phosphatés		
Superphosphates 14 à 48 %	0	0
Phosphate bicalcique 37 %		25
Phosphate naturel $\leqslant$ 35 %	0	alcalin
Engrais potassiques		
Chlorure (60 %), sulfate (48 %)	0	0

La libération plus ou moins facile d'anions peut entraîner des accidents par excès ou par localisation.

La principale cause d'acidification du sol par les engrais est la nitrification de l'azote ammoniacal ou organique, l'azote ammoniacal des sels d'ammonium ayant une action acidifiante double de celle de l'azote organique (action acidifiante liée à l'anion de ces sels).. C'est ce qui explique que l'addition d'ammoniaque au sol provoque une acidification.

5.4. Mélange et stockage des engrais

5.4.1. MELANGES

Les constituants de deux engrais peuvent donner lieu à des réactions plus ou moins violentes qui se soldent :

— soit par des dégagements gazeux de matières fertilisantes qui seront en partie perdues avant l'emploi;
— soit par une modification de l'état physique entraînant une impossibilité pratique d'utilisation;
— soit par une élévation de température si forte qu'elle peut entraîner des incendies.

Le tableau de la page suivante permet de déterminer les mélanges possibles longtemps avant usage ou aussitôt avant la mise en terre.

De toute manière les engrais doivent être bien secs pour que le mélange soit aisé aussi bien par pelletage que par voie mécanique.

COMPATIBILITE DES ENGRAIS

e : Mélange au moment de l'emploi seulement.
— : Ne jamais mélanger.
+ : Mélange toujours possible.

	Cyanamide Ca	Sulfate NH_4, Phosphate NH_4	Chlorhydrate NH_4	Nitrate NH_4, Ammonitrates	Nitrate Ca	Nitrate Na - Nitrate K	Urée	Superphosphate	Scories Phosphates naturels Phospal	Phosphate bicalcique	ClK - SO_4K_2 Sylvinite	Chaux	Carbonate Ca Craie - Marne
Sulfate NH_4 Phosphate NH_4	—												
Chlorhydrate NH_4	—	+											
Nitrate NH_4 Ammonitrates	—	(1)	+										
Nitrate Ca	e	—	—	—									
Nitrate Na Nitrate K	+	+	+	e	(2)								
Urée	—	+	+	—	—	+							
Superphosphate	—	+	+	+	—	(3)	— ou e						
Scories-Phosphates naturels-Phospal	+	—	—	—	e	+	—	—					
Phosph. bicalcique	+	+	+	+	e	+	+	—	+				
ClK-SO_4K_2-Sylvinite	+	+	+	e	e	+	(4)	+	+	+			
Chaux	+	—	—	—	e	(2)	—	—	+	e	e		
Carbonate Ca Craie, marne	+	—	—	+	e	+	—	—	+	+	e	+	
Fumier, engrais organiques	—	+	+	+	—	+	+	+	—	+	+	—	—

(1) + pour nitrate NH4
e pour ammonitretes

(2) e pour nitrate Na
— pour nitropotasse

(3) + pour nitropotasse
e pour nitrate Na

(4) + pour sulfate K
e pour chlorure K
— pour sylvinite
ne pas mélanger avec ClNa

Les mélanges sont de moins en moins pratiqués depuis la vulgarisation des engrais binaires et complexes.

5.4.2. STOCKAGE DES ENGRAIS

Les engrais utilisables en agriculture doivent faire l'objet de précautions pour le stockage, surtout en climat chaud et humide. Ils peuvent en effet subir des pertes d'éléments fertilisants soit par dissolution (engrais hygroscopiques) soit par évaporation (urée).

Par conséquent, on évitera de percer les emballages avant l'utilisation du contenu.

Le tableau ci-après indique la densité des principaux engrais, élément important pour la prévision de hangars de stockage qui, d'une manière générale, doivent être étanches et maintenus à l'abri de l'humidité, les sacs y étant disposés sur madriers, surtout si le sol est cimenté. La densité est également un critère de base pour le réglage du débit des épandeurs mécaniques :

Volume approximatif occupé par les engrais (en litres par 100 kg)

a) Engrais azotés	
Nitrate de soude Chili	80 à 90 litres
Nitrate de chaux	85 à 100 —
Sulfate d'ammoniaque	90 à 100 —
Phosphate d'ammoniaque	95 à 110 —
Ammonitrates 22 %	100 à 120 —
Ammonitrates 27,5 %	105 à 130 —
Ammonitrates 33,0 à 34,5 %	115 à 140 —
Perlurée 45 %	135 à 155 —
Cyanamide	110 à 125 —
b) Engrais phosphatés	
Phosphates nat. moulus (pulv.)	75 à 100 litres
Scories Thomas (pulv.)	50 à 75 —
Super triple (gran.)	105 à 120 —
Super 16-18 % (gran.)	107 à 124 —
Super 16-18 % (pulv.)	106 à 122 —
Phosphate bicalcique	140 à 164 —
c) Engrais potassiques	
Sulfate de potasse	75 à 85 litres
Sylvinite 40 %	80 à 90 —
Chlorure de potassium 60 %	80 à 90 —
Bicarbonate de potasse	90 à 100 —
d) Binaires P.K.	
Scories potassiques 14.14	60 à 70 litres
Phospho potassiques 19.19	80 à 105 —
e) Complexes et composés de mélanges	
10.10.10 (pulv.)	105 à 120 litres
10.10.10 (gran.)	86 à 95 litres
8.16.16 (gran.)	82 à 88 —
12.12.20 (gran.)	96 à 105 —

Le volume occupé par 100 kg d'engrais varie dans des limites assez larges, en fonction de la nature même de l'engrais, de son mode de fabrication, de la charge, de la présentation, et, pour un même produit, en fonction de son degré de tassement. Quand l'épandeur a roulé un certain temps dans le champ, on peut considérer que le volume occupé dans la caisse est celui de l'engrais tassé. C'est pourquoi nous avons indiqué une fourchette dont le premier terme correspond au volume du produit tassé.

Les chiffres ci-dessus n'ont qu'une valeur relative donnée à titre indicatif.

5.5. Présentation commerciale et dosage des principaux engrais

Un engrais est caractérisé par :
— sa composition (nature du ou des sels minéraux ou organiques) ;
— sa provenance (industrielle ou naturelle) ;
— sa teneur en éléments fertilisants;
— sa solubilité avec mention de la nature de l'engrais.

Ces indications doivent être portées sur l'étiquette de sacs fournis par le commerce.

Les engrais sont livrés soit en vrac, soit en sacs jute, soit en sacs papier, soit en sacs matière plastique. Faire attention à la qualité de la sacherie prévue (étanchéité dans le cas d'engrais hygroscopiques, fragilité, coût, etc...).

L'emploi des engrais liquides par pulvérisation sur le feuillage ou addition aux eaux d'irrigation prend de l'importance dans certains pays mais reste limité à la culture industrielle de l'ananas en agriculture tropicale.

Par contre, une technique de conditionnement et de vente qui pourrait prendre de l'extension en Afrique est le bulk blending ou « mélange en vrac » largement utilisé aux U.S.A.

Solubilité des engrais (dans 100 litres d'eau)

Engrais	En kg de produit		En unités fertilisantes à 20° C		
	à 0° C	à 20° C	N	P_2O_5	K_2O
Nitrate de chaux	102	122	18,3		
Nitrate de soude	73	88	14,1		
Nitrate de potasse	13,3	31,6	4		13,6
Sulfate d'ammoniaque	70,6	73	14,6		
Urée	66,7	103,3	46,4		
Ammonitrate (haut dosage)	118,3	192	64,4		
Phosphate d'ammoniaque (bi)		66,1	11,8	31,7	
Chlorure de potassium	28,5	35			20,4
Sulfate de potasse	7,3	11			5,3
Bicarbonate de potasse ...		33			15

5.6. Calcul d'engrais

5.6.1. A PARTIR DE L'ANALYSE DU SOL

Sur une parcelle qui possède une teneur en potasse échangeable inférieure à 0,07 me pour 100 g (1) on veut déterminer une correction de 0,2 me de K par 100 g sur 10 cm de profondeur par un apport de chlorure de potasse.

Densité de la terre 1,3.

$$10\,000\ (m^2) \times 0{,}1\ (m) \times 1\,300 (kg) \times \frac{0{,}2\ (me)}{0{,}1\ (kg)} = 2\,600\,000\ \text{me de K/Ha.}$$

Il faut 78 mg de chlorure de potasse à 60 % de K_2O pour obtenir 1 me de K (voir page 130).

Il nous faut donc prévoir :

$$\frac{2\,600\,000 \times 78\ g}{1\,000} = 202\,800 g \text{ de chlorure, soit } 202{,}8 \text{ kg/Ha.}$$

D'une manière générale :

si : X correction à apporter par 100 g
d densité du sol
h profondeur de terre concernée (en cm)
p poids (en mg) de l'engrais contenant un milliéquivalent

on a : $X \times d \times h \times p = Q$ kg engrais

5.6.2. A PARTIR DES EXPORTATIONS DE RECOLTES (METHODE DE RESTITUTION)

On admet qu'une récolte de X kg exporte :

x kg ou unités de N
y kg ou unités de P_2O_5
z kg ou unités de K_2O

On en déduit les quantités d'engrais ou d'amendements nécessaires pour réapprovisionner le sol en éléments prélevés, compte tenu des teneurs des diverses formulations disponibles.

Comme il a été signalé précédemment, cette méthode de calcul ne tient pas compte des pertes dans les eaux de ruissellement et de drainage. Dans de nombreux cas la fumure ainsi calculée ne suffit pas à entretenir la fertilité du sol.

Le choix de ces engrais dépend à la fois des exigences des cultures en tel ou tel corps chimique, du prix de revient des diverses formulations possibles et des conditions du milieu. — Ex. inefficacité des phosphates naturels en sol basique; en climat sec prendre de préférence les engrais les plus solubles; sur le tabac éviter les chlorures.

---

(1) me : milliéquivalent; me/100 : rapport de la quantité d'un élément (exprimée en mg) à l'équivalent-gramme de cet élément.

DOSAGES DES PRINCIPAUX ENGRAIS — EQUIVALENCES EN UNITES FERTILISANTES

	Engrais	Dosages en %		Poids en kg pour 1 unité fertilisante
Azotés	**Ammoniacaux :**	**Azote**		**1 unité d'azote**
	Cyanamide de chaux	18 à 22	ammoniacal	5,5 à 4,6
	Urée (perlurée)	45 à 46		2,2
	Sulfate d'ammoniaque	20 à 21		5 à 4,8
	Ammoniac anhydre	82		1,2
	Phosph. d'ammoniaque	17,5 à 20		5,2 à 5
	Ammoniaco-nitriques :			
	Nitrate d'ammoniaque	34,9 à 35,5	mi-nitrique	3,3
	Ammonitrates :			
	faible dosage	20,5	mi ammoniacal	5
	moyen dosage	27,5		3,7
	haut dosage	33,5 à 34,5		3,3
	Nitriques :			
	Nitrate de chaux	15 à 15,5	nitrique	6,6
	Nit. de chaux et de magnésie	13 à 15		7,7 à 6,6
	Nitrate de soude	15,5 à 16		6,3
	Nitrate de potasse	13		7,7

Phosphatés		**Acide phosphorique** soluble dans :	**1 unité d'acide phosph.**
	Superphosphate de chaux	14 à 20 eau	7,2 à 5 kg
	Super triple	40 à 50 et	2,5 à 2
	Phosph. d'ammoniaque	40 à 52 citrate	2,5 à 2
	Phosph. bicalcique	36 à 40 : citrate	2,8 à 2,5
	Phospal	26 : citrate 8 : insoluble	3
	Scories Thomas	14 à 22 : acide citrique	7 à 4,5
	Phosphates naturels moulus	26 à 35 : insoluble	3,9 à 2,9
Potassiques		**Potasse**	**1 unité de potasse**
	Sylvinite double	40 soluble dans l'eau	2,5
	Chlorure de potassium	60	1,7
	Sulfate de potasse	48	2,1
	Bicarbonate de potasse	46	2,2
	Patentkali	28	3,6
	Nitrate de potasse	44	2,3
Composés	Suivant formules :	ex : 10-15-12 :	
	calculer séparément	10 d'azote	10 pour 1 unité N
	pour chaque élément	15 d'acide phosphorique	6,6 — P_2O_5
	fertilisant	12 de potasse	8,3 — K.O

5.6.3. TABLEAU DE CORRESPONDANCE ENTRE UNITE FERTILISANTE ET EQUIVALENCE-GRAMME DE L'ELEMENT (1).

Unité fertilisante	Nombre d'Equivalents-gramme d'élément
1 kg N	71,4 N
1 kg P_2O_5	42,2 PO_4
1 kg K_2O	21,2 K_2O
1 kg CaO	35,7 CaO
1 kg MgO	49,7 MgO
1 kg Na	43,5 Na^+
1 kg S	62,5 S

Le nombre d'équivalents-gramme contenu dans 1 kg d'engrais est donné par le produit de sa teneur en unité fertilisante (cf. 5-8) par le nombre d'équivalents-gramme de l'élément contenu dans une unité fertilisante.

Un équivalent-gramme = 10^3 me

Exemple : Pour avoir un milliéquivalent :

— **de calcium,** il faut prendre soit :

28 milligrammes de chaux vive pure
37 — de chaux éteinte pure
88 — de phosphate bicalcique à 32 % de CaO
62 — de phosphate tricalcique à 45 % de CaO
333 — de 10-10-20 à 8,4 % de CaO
465 — de 8-8-28 à 6,7 % de CaO
1,1 gramme de 12-8-18 à 2,5 % de CaO
207 milligrammes de 5-16-24 à 13,5 % de CaO.

— **de potassium** il faut prendre soit :

56 milligrammes de potasse caustique pure
186 — de sylvinite (potasse d'Alsace naturelle à 35 % de KCl)
78 — de chlorure de potasse à 60 % de K_2O
98 — de sulfate de potasse à 48 % de K_2O
107 — de nitrate de potasse à 44 % de K_2O
261 — de scories potassiques à 18 % de K_2O
235 — de 10-10-20 à 20 % de K_2O
169 — de 8-8-28 à 28 % de K_2O
261 — de 12-8-18 à 18 % de K_2O
196 — de 5-16-24 à 24 % de K_2O

— **de magnésium,** il faut prendre :

20,16 milligrammes de magnésie pure (MgO)

— **de sodium,** il faut prendre soit :

40 milligrammes de soude caustique pure,
100 milligrammes de sylvinite (potasse d'Alsace naturelle à 65 % de NaCl).

(1) Equivalence-gramme = Poids moléculaire divisé par la valence.

5.7. Exportation d'unités fertilisantes pour les principales cultures

Culture	Qx/ha Rendement (1)	Azote kg N (1)	Acide phosphorique kg P_2O_5 (1)	Potasse kg K_2O (1)
Agrumes	120 (fruits)	100	22	140
Ananas	200 (fruits)	66	18	164
Arachide (2)	15 (gousses)	105	15	42
Banane	600 (régimes)	50-75	15-20	175-225
Betterave	280 (racines et feuilles)	134	45	245
Blé	16 (grain)	60	75	75
	+18 (paille)			
Cacao	7 (cacao sec)	30-60	27-54	60-90
Café	20 (cerises sèches)	30	5	50
Canne à sucre ..	500 (cannes)	120-160	80-95	230-280
Cocotier	25 (Coprah)	66	28	123
Concombres	240 (fruits)	45	36	71
Coton	3,5 (coton fibre)	75	30	78
Haricots (2)	19 (graines)	132	37	97
Hévéa	3,5 (latex)	42	5	19
Hibiscus	—	60	50	60
Luzerne (2)	64 (fourrage sec)	192	49	134
Maïs	35 (grain)	114	43	125
Manioc	280 (racines)	50	20	40
Olivier	37 (fruits)	150	17	185
Orge	20 (grains)	39	12	51
Palmier à huile	16 (huile)	60	25	50
Patate douce ..	160 (tubercule)	116	49	187
Pomme de terre	100 (tubercule)	60	50	100
Ricin	12 (grains)	90	40	190
Riz	35 (grains)	40	16	13
	+24 (paille)	58	18	67
Sisal	12 (fibre)	71	16	117 (230 CaO)
Soja (2)	9 (graines)	60	35	80
Sorgho	10 (grains)	30	60	30
Tabac	16 (feuilles sèches)	116	36	214
Thé	4 (thé marchand)	31	4	13
Tomates	320 (fruits)	98	27	143
Vigne	80 (grappes)	71	27	89

(1) Ces chiffres ne sont que des ordres de grandeur et sont donnés à titre indicatif.
(2) Cette plante prélève largement son azote dans l'atmosphère.

5.8. Table de conversion des éléments minéraux en leurs composés (et inversement)

a	A	B	b
0,82	Azote	Ammoniaque (NH_3)	1,21
0,22	—	Acide nitrique (NO_3)	4,42
0,16	—	Protéines	6,25
0,21	—	Sulfate d'ammoniaque ($(NH_4)_2SO_4$)	4,71
0,16	—	Nitrate de sodium ($NaNO_3$)	6,07
0,14	—	Nitrate de potasse (KNO_3)	7,21
0,26	Ammoniaque	Sulfate d'ammoniaque ($(NH_4)_2SO_4$)	3,88
0,20	—	Nitrate de sodium ($NaNO_3$)	5,00
0,17	—	Nitrate de potasse (KNO_3)	5,94
3,69	Nitrate de sodium ($NaNO_3$)	Sodium (Na)	0,27
4,99	— — —	Ammoniac (NH_3)	0,20
6,07	— — —	Azote (N)	0,16
2,29	Acide phosphorique (P_2O_5)	Phosphore (P)	0,44
0,33	Phosphore (P)	Phosphate (PO_4)	3,06
0,46	Acide phosphorique (P_2O_5)	Phosphate tricalcique insoluble ($Ca_3(PO_4)_2$)	2,18
0,51	— — —	Phosphate bicalcique ($CaHPO_4$)	1,84
0,61	— — —	Phosphate monocalcique ($CaH_4(PO_4)_2$)	1,65

Pour passer de B à A : multiplier B par a - Pour passer de A à B : multiplier A par b.

0,83	Potassium (K)	Potasse (K_2O)	1,20
0,39	— —	Nitrate de potassium (KNO_3)	2,56
0,45	— —	Sulfate de potassium (K_2SO_4)	2,23
0,52	— —	Chlorure de potassium (KCl)	1,91
0,56	— —	Carbonate de potassium (K_2CO_3)	1,77
0,47	Potasse (K_2O)	Nitrate de potassium (KNO_3)	2,15
0,54	— —	Sulfate de potassium (K_2SO_4)	1,85
0,63	— —	Chlorure de potassium (KCl)	1,53
0,56	Chaux vive	Carbonate de calcium	1,78
0,41	— —	Sulfate de calcium ($CaSO_4$)	2,43
1,40	— —	Calcium (Ca)	0,71
0,54	— —	Phosphate tricalcique ($Ca_3(PO_4)_2$)	1,84
0,32	— —	Gypse ($CaSO_4, 2H_2O$)	3.07
2,50	Carbonate de calcium ($CaCO_3$)	Calcium (Ca)	0,40
1,35	— — — —	Chaux éteinte ($Ca(OH)_2$)	0,74
1,32	Chaux éteinte ($Ca(OH)_2$)	Chaux vive (CaO)	0,76
1,85	— — —	Calcium (Ca)	0,54

0,33	Magnésie (MgO)	Sulfate de magnésie ($MgSO_4$)	2,98
0,25	Manganèse (Mn)	Sulfate de manganèse ($MnSO_4$, $4H_2O$)	4,06
0,77	Manganèse (Mn)	Oxyde de manganèse (NnO)	1,29
0,16	Magnésie (MgO)	Sulfate de magnésie hydraté (Mg SO_4, $7H_2O$)	6,11
0,36	Manganèse (Mn)	Sulfate de manganèse ($MnSO_4$)	2,75
0,40	Manganèse (Mn)	Sulfate de manganèse monohydrate ($MnSO_4$ H_2O)	2,52
0,11	Bore (B)	Borax ($Na_2B_4O_7$, $10H_2O$)	8,81
0,40	Soufre (S)	Anhydride sulfurique (SO_3)	2,50
0,20	Fer (Fe)	Sulfate de fer ($FeSO_4$, $7H_2O$)	4,98
0,25	Cuivre (Cu)	Sulfate de cuivre ($CuSO_4$, $5H_2O$)	3,93
0,33	Soufre (S)	Acide sulfurique (H_2SO_4)	3,06
0,60	Magnésium (Mg)	Magnésie (MgO)	1,67
0,20	Magnésium (Mg)	Sulfate de magnésium ($MgSO_4$)	4,95
0,29	Magnésium (Mg)	Carbonate de magnésium	3,47

5.9. Choix des engrais

C'est un problème complexe dont la solution doit contribuer au maintien sinon à l'amélioration des propriétés biologiques et physico-chimiques d'un sol pour satisfaire aux exigences particulières des plantes.

Le choix des engrais doit être guidé par :

5.9.1. LE pH DU SOL

Pour un sol acide ou en voie d'acidification on préfèrera l'emploi d'engrais à action alcalinisante (cf. tableau du § 53, page 129.) tels que cyanamide de chaux, nitrate de potasse,... Il faut également étudier les phénomènes possibles de rétrogradation des éléments fertilisants sous l'influence du pH du sol : cas de l'ion PO 4 fixé sur le complexe dans les sols à pH élevé et à forte proportion de Ca actif ou, au contraire, à pH très acide.

5.9.2. LA MOBILISATION DES ELEMENTS FERTILISANTS ET LA DYNAMIQUE D'ABSORPTION PAR LES PLANTES :

Les éléments fertilisants sont mobilisés plus ou moins rapidement suivant leur nature. L'azote est utilisé par la plante sous sa forme nitrique (NO 3). Par conséquent les engrais nitriques auront une action de coup de fouet sur les plantes; tandis que les engrais ammoniacaux qui doivent subir une nitrification préalable auront une action plus soutenue et régulière. On est ainsi amené à distinguer la fumure de fond (mise à disposition lente des éléments fertilisants, tels que les phosphates naturels) et la fumure d'appoint qui met rapidement à la disposition des plantes les éléments fertilisants (ex. : superphosphates).

5.9.3. LES INTERACTIONS « NATURE DE L'ENGRAIS » x « NATURE DU SOL »

Les conditions de milieu influent sur le choix des engrais. Ainsi en période de sécheresse ou sur un sol acide on apportera l'azote sous forme nitrique; sous forme ammoniacale en période humide et chaude

5.9.4. LA PRESENCE D'IONS INDESIRABLES ou polluants contenus dans les formules d'engrais (Na^+ et Cl^-) qui entraîne des phénomènes de phytotoxicité à des concentrations plus ou moins fortes selon les plantes (le tabac est très sensible à Cl^- alors que Cl est nécessaire sur palmier).

5.9.5. LA PRESENCE DE CARENCE EVENTUELLE (fumure de correction).

6. TRAVAIL DU SOL

Souvent imparfait dans les systèmes traditionnels de la zone tropicale, le travail du sol contribue à l'amélioration d'un certain nombre de propriétés physiques du sol qui influent sur la croissance et la production des cultures.

En particulier, la **porosité globale du sol** est accrue par un labour profond réalisé dans de bonnes conditions.

6.1. Influence du travail du sol sur le sol et les cultures

6.1.1. LUTTE CONTRE LES ADVENTICES PAR LA TECHNIQUE DU LABOUR

6.1.2. MODIFICATIONS DES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS

— par ameublissement qui se traduit par des efforts de traction moindres pour les autres façons culturales. Le contraste est surtout marqué entre le sol travaillé et le témoin à l'état sec.
— par l'amélioration du régime hydrique (meilleure infiltration, moins de ruissellement).
— par une moindre susceptibilité à l'érosion (labour en courbe de niveau).
— par une modification de la granulométrie (enrichissement en argile des horizons supérieurs par le labour).
— par la modification de la structure et de la porosité. La stabilité structurale aurait tendance à s'améliorer avec l'augmentation de la porosité.

Des mesures réalisées en sol dior montrent que la densité apparente passe de 1,62 à 1,50 après labour ce qui traduit une porosité plus grande.

6.1.3. EFFETS DU TRAVAIL DU SOL SUR L'ENRACINEMENT

On observe une fasciculation plus importante et une densité supérieure de petites racines.

6.2. Influence des labours sur les cultures

Les plus-values sur les rendements observées avec un sol labouré par rapport au témoin varient dans des proportions très importantes selon les conditions préexistantes et les types de plantes. Les labours constituent souvent un facteur important de l'amélioration des rendements.

6.3. Modalités de réalisation des labours

6.3.1. INSTRUMENTS UTILISES ET PROBLEMES DES FORCES DE TRACTION

Les charrues à soc et versoir sont à préférer aux charrues à disques qui pulvérisent trop les sols et donnent des labours trop fondus en sols sableux. Les charrues à disques sont utilisées sur défrichements récents ou pour un labour d'enfouissement.

Les déchaumeuses à disques ne font qu'un travail superficiel (déplacement du sol sans retournement = pseudo-labour).

Les travaux de labour ou de pseudo-labour exigent habituellement des forces de traction voisines de 100 kg (par soc). Ainsi le labour

d'un sol dior humidifié au voisinage de la capacité de rétention sur 15 cm de fond avec une charrue versoir travaillant sur 23 cm de large demande une force de traction de 90 à 110 kg, ce qui fait éliminer les attelages asins ou équins (cf. ch. Machinisme).

Les attelages asins et équins seront réservés pour les travaux de semis, d'entretien ou de transport.

Les labours d'enfouissement de matière végétale demandent en moyenne les mêmes forces de traction.

Cependant les amplitudes autour de la moyenne sont plus élevées d'où fatiguabilité accrue des attelages.

En culture motorisée les forces de traction sont généralement plus importantes ce qui permet de travailler un plus grand volume de sol (profondeur × largeur de travail).

6.3.2. PROFONDEUR DE TRAVAIL

Il faut chercher à offrir aux plantes le maximum de volume pour le développement des racines en tenant compte du profil cultural pour éviter de ramener brusquement à la surface des horizons inférieurs pauvres.

6.3.3. HUMIDITE DU SOL

Le labour en sec est déconseillé :

— formation de très grosses mottes
— usure rapide des pièces travaillantes
— forces de traction très élevées.

Le taux d'humidité optimal pour effectuer un bon labour semble se situer un peu en dessous de la capacité de rétention, soit entre 10 et 15 % d'humidité pondérale pour la plupart des sols argilo-sableux, de la zone tropicale de l'Afrique de l'Ouest. Compte tenu de la faible valeur du taux d'humidité optimal de ces types de sols et du fort pouvoir évaporant qui règne sous ces climats, la marge de temps disponible après chaque pluie utile pour exécuter le labour sera faible (2 à 3 jours).

6.3.4. EPOQUE DE TRAVAIL

Pour un labour ordinaire de préparation du sol, le labour de fin de cycle est à préférer au labour de début de cycle quand cela est possible. Le cycle pluviométrique doit être supérieur aux cycles végétatifs des cultures. Il permet de réaliser les semis les plus précoces et d'obtenir en général des améliorations sensibles de rendements (+ 25 % sur maïs et arachide à Séfa - Sénégal).

6.3.5. PREPARATION DES TERRES ET MODELE DU TERRAIN

Le labour à plat correctement effectué, suffisamment fermé et profond permet de concilier les trois impératifs :

— diminution du ruissellement par infiltration de l'eau dans le sol
— réduction de la dégradation structurale
— maîtrise de l'herbe

La technique du buttage a une influence favorable sur certaines cultures (coton, maïs). Il s'agit d'un binage-buttage après semis.

6.3.6. REPRISE DES LABOURS POUR LA PREPARATION DU LIT DE SEMENCE

Il faut éviter de multiplier les façons culturales superficielles qui ont une action défavorable sur la structure et les rendements.

6.4. Rémanence d'action des labours :

L'effet d'ameublissement persiste normalement après une première culture semée précocement.

Après un labour d'enfouissement la rémanence d'action sur le sol et les cultures est variable suivant la culture test :
— peu marquée après arachide;
— profil cultural mieux conservé après céréale.

6.5. Place des labours dans la rotation :

En culture continue avec travail du sol et une fertilisation appropriée les rendements se maintiennent.

L'engrais vert (jachère naturelle ou améliorée) trouve sa justification dans son double rôle :
— fonction « travail du sol » en particulier dans les régions à hivernage court où le labour en saison des pluies est seul possible;
— fonction de sole fourragère, en particulier dans les régions où la traction animale est développée.

6.6. Travaux de préparation du sol autres que labour :

Le pseudo-labour à la dent sous-soleuse en sec ou en humide apporte des améliorations de rendements de l'ordre de **7 à 24 %** suivant le sol.

Le sous-solage profond peut se manifester par un meilleur enracinement fonction :
— de la persistance des transformations subies par le sol;
— des façons culturales qui ont suivi;
— du système radiculaire de la plante cultivée (pivotant ou fasciculé).

Le riz réagit mieux que le coton pour lequel il n'y a de résultat que si la ligne de plantation se superpose à la ligne de sous-solage.

6.7. Autres travaux du sol :

Il s'agit :
— des travaux d'entretien pour lesquels il est difficile de faire la part des effets bénéfiques dus au sarclage (destruction des adventices) de ceux dus au binage (travail du sol).
— des travaux de récolte des organes souterrains dont l'incidence est plus ou moins importante et généralisée sur le sol. Pour l'arachide l'influence est faible et limitée au contraire de celle des tubercules d'ignames.

GLOSSAIRE

Acidité : qualité acide d'un corps (cf. pH).
Amendement : toute substance qui, incorporée au sol, améliore ses propriétés physiques.
Analyse : décomposition du corps en ses éléments constituants.
Basicité : propriété d'un corps de jouer le rôle de base dans les combinaisons chimiques (cf. pH) = Alcalinité.
Carence : maladie causée par l'absence, dans l'alimentation, de certains facteurs indispensables à la nutrition des tissus.
Chélate : composé organique non insolubilisé dans le sol (ex. : le chélate de fer dans les sols riches en CO3 Ca).
Chlorose : maladie des plantes ou irrégularité d'une fonction de nutrition (ex. : chlorose ferrique).
Compatibilité : état d'une chose compatible avec une autre (ex. : mélange de formules d'engrais).
Concentration : action d'augmenter la richesse d'un mélange en une substance déterminée.
Croissance : développement organisé et progressif d'un corps (des feuilles, des fleurs...).
Développement : ensemble de phénomènes par lesquels le germe se transforme en être adulte.
Diagnostic : détermination de la nature de la « maladie », de la carence.
Engrais : matières quelconques (minérales ou organiques) qui ont pour effet d'augmenter la quantité des principes utilisables par les plantes.
Enzyme : ferment soluble qui accélère les réactions chimiques.
Equivalent-gramme : poids moléculaire d'un élément divisé par sa valence.
Fertilisation : apport au sol des éléments nutritifs nécessaires au développement des plantes (d'entretien, de redressement en cas de carence).
Fumier : mélange des litières et des déjections animales.
Humus : provient de la décomposition et de la fermentation des matières organiques.
Minéralisation : transformation de tissus vivants en matières minérales.
Oligo-éléments : éléments nécessaires à l'alimentation des plantes en petites quantités.
pH : indice qui mesure la concentration des ions H +; varie de 0 à 14 par ordre d'acidité décroissante; est égal au logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ions H + de la solution du sol.
Structure : mode d'association des divers constituants du sol, pour former des agrégats ou des mottes (St. grenue, micro-grenue).
Texture : quantités relatives des divers constituants du sol (sable, limon, argile, calcaire, humus) hormis la fraction grossière du sol.

CHAPITRE VIII

PRODUITS DE LUTTE ANTIPARASITAIRE

INTRODUCTION

L'évolution est extrêmement rapide en ce qui concerne les pesticides. De très nombreux produits sont expérimentés et lancés chaque année, tandis que d'autres sont retirés du commerce, soit en raison des risques qu'ils représentent, soit parce qu'ils sont techniquement dépassés.

Les conditions de milieu, extrêmement diverses d'un pays à l'autre et parfois même différentes dans un pays donné, font en sorte que les résultats excellents dans un cas sont presque nuls dans un autre.

Les législations relatives à l'usage des pesticides diffèrent suivant les pays ; certains territoires n'en ont aucune à l'heure actuelle.

Pour toutes ces raisons, il est indispensable que le choix d'un produit s'accompagne de bien des précautions, en particulier lorsqu'on ignore son action dans le milieu où sera effectué le traitement.

Il sera nécessaire dans tous les cas :
— de prendre connaissance de la législation locale,
— de recueillir l'avis des services techniques,
— d'obtenir du distributeur, ou mieux du fabricant, le maximum de données sur le ou les produits dont l'usage est envisagé.

Si l'emploi des pesticides est indispensable pour assurer la protection des cultures et des récoltes, il ne faut surtout pas perdre de vue que la très mauvaise connaissance qu'en ont beaucoup d'utilisateurs est à la fois cause de très nombreux accidents et d'insuccès.

Pour cette raison, ce chapitre abordera les problèmes relatifs à la toxicité, avec quelques indications sur les législations en application à l'heure actuelle. La législation française apparaît à ce sujet aussi bien adaptée aux nécessités que le sont les autres et concerne aussi bien les produits étrangers que nationaux. Rappelons que cette législation française bénéficie de l'expérience des cultures tropicales des départements d'Outre-Mer.

Sur le plan international, la FAO diffuse le code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides (1986), qui sert de point de référence pour les pays qui ne disposent pas encore de l'infrastructure appropriée pour la réglementation des pesticides.

Ce code est complété par des directives dont les principales sont :
— l'homologation et le contrôle des pesticides,
— le bon étiquetage des pesticides,
— les critères écotoxicologiques applicables à l'homologation,
— les données d'efficacité pour l'homologation,
— le conditionnement et le stockage des pesticides,
— l'élimination des déchets et des récipients dans les exploitations.

1. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES PRODUITS ANTIPARASITAIRES

Un pesticide est une substance ou une préparation destinée à combattre les organismes nuisibles des végétaux et des produits végétaux.

Principaux types de pesticides et produits assimilés :
— les insecticides et les acaricides,
— les fongicides et les antibiotiques,
— les herbicides, les défoliants et les substances de croissance,
— les produits divers : nématicides, rodenticides, molluscicides, produits antiaviaires...
— les produits destinés à l'assainissement et au traitement antiparasitaires des locaux, matériels, véhicules, emplacements et dépendances utilisés pour les végétaux et produits végétaux.

Nous en rappellerons brièvement quelques caractéristiques essentielles. En général, à l'exception des produits industriels simples (soufre par exemple), les produits utilisés sont préparés à partir de matières actives suivant une certaine « formulation » caractéristique de la « spécialité » commerciale.

La formulation est caractérisée par :
— une ou plusieurs matières actives,
— un diluant liquide ou une charge solide,
— des adjuvants : mouillants, adhésifs, émulsionnants,
— des dénaturants, colorants, odorants (généralement pour les produits toxiques).

Définitions :
— **La matière active** d'un pesticide est le constituant de la préparation auquel est due en tout ou en partie, son efficacité.
- **la concentration** est la quantité de matière active ou de préparation contenue dans l'unité de volume.
- **la teneur** est le pourcentage en masse ou volume de matière active contenue dans une préparation.
- **la dose** est la quantité de matière active ou de préparation à appliquer par unité de surface ou de volume à traiter.

La charge est la matière solide incorporée à une préparation phytopharmaceutique et destinée à en modifier la teneur en matière active.
Le diluant est la matière liquide incorporée à une préparation phytopharmaceutique et destinée à en modifier la teneur en matière active.

Un produit industriel simple est un produit technique directement utilisable comme pesticide.

Un adjuvant est une substance en général dépourvue d'activité biologique, mais susceptible de modifier les qualités physiques et physicochimiques d'une préparation phytopharmaceutique et, par suite, l'efficacité de cette préparation.

Un mouillant est un adjuvant dont la présence améliore l'étalement sur une surface traitée d'une préparation phytopharmaceutique.

Un émulsionnant est une substance permettant la dispersion d'un liquide dans un autre liquide auquel il n'est pas spontanément miscible.

Un adhésif est un adjuvant dont l'addition à une préparation phytopharmaceutique accroît la ténacité de la matière active sur les surfaces traitées.

2. PRODUITS FINIS LIQUIDES

Ce sont :

— soit des **solutions diluées** prêtes à l'emploi,
— soit des **solutions concentrées à diluer** au moment de l'emploi dans l'eau ou dans les solvants pétroliers courants ;
— soit des **solutions émulsionnables** dans un liquide dispersant.

Les solvants ou les liquides dispersants doivent être dénués d'action phytotoxique, c'est-à-dire ne pas être susceptibles d'occasionner aux végétaux des altérations passagères ou durables.

Les produits liquides sont utilisés en **pulvérisation**, en **nébulisation,** parfois en mélange **dans les eaux d'arrosage** ; les produits à forte tension de vapeur peuvent être utilisés pour le traitement du sol.

3. PRODUITS FINIS SOLIDES

Ce sont soit des poudres pour poudrage, soit des poudres pour bouillies ou poudres mouillables.

Dans les deux cas, finesse de la poudre (granulométrie) ainsi que densité, pH et abrasivité de la charge sont des facteurs très importants à prendre en considération. Quand le produit actif est liquide, il est fixé par absorption sur une charge absorbante.

Il existe aussi des formulations sous forme granulée, en général pour épandage sur ou dans le sol (rodenticides, insecticides, nématicides, anti-mollusques).

Les produits sont très généralement utilisés en associations binaires ou ternaires de matières actives.

4. MODALITÉS DE TRAITEMENT

Les manières d'appliquer les traitements phytosanitaires varient avec les cultures et les ravageurs.

D'une manière générale, un traitement rationnel est préparé par la détermination des causes des dommages et du cycle de développement du ravageur mettant en évidence les époques les plus favorables au traitement.

L'expérimentation permet de choisir la (ou les) matière active efficace contre le (ou les) ravageur à contrôler, les conditions matérielles optimales et la fréquence des répétitions de traitement nécessaire ainsi que les doses d'emploi (quantité de matière active ou de préparation à utiliser dans un traitement, rapportée à une unité donnée) ;

exemple :
— kg ou litres à l'hectare cultivé
— kg ou litres à l'hectolitre de bouillie
— grammes au m^3 d'atmosphère
— grammes au kg d'appât, etc.

Les procédés de traitement utilisées se classent en plusieurs groupes :
— pulvérisation classique : 800 à 2 000 l/ha
— micronisation : 90 l de solution à l/ha
— bas volume (B.V.) : 20 l/ha
— ultra bas volume (U.B.V. ou U.L.V.) : moins de 5 l/ha.

La technique de l'ULV se développe rapidement en Afrique où l'approvisionnement en eau est souvent un obstacle à la réalisation des traitements phytosanitaires.

5. LA LUTTE BIOLOGIQUE

Elle consiste à utiliser des organismes vivants pour entraver, réduire ou éliminer les dommages causés par d'autres organismes vivants.

Les voies actuellement ouvertes et les recherches portent sur :
— l'utilisation d'insectes entomophages,
— l'utilisation de germes entomophages,
— la lutte autocide,
— les propriétés de certains produits et hormones : attractifs - répulsifs,
— les variétés résistantes.

5.1. L'utilisation d'insectes entomophages

C'est la méthode la plus connue, mais l'une des plus difficiles en raison même de la spécialisation hautement poussée de ces insectes et des conditions écologiques qu'il est souvent très difficile de connaître et de reproduire.

Les entomophages se différencient en prédateurs et parasites.

— **exemples d'introductions réussies :**
- ***Apanteles flavipes*** comme parasite du Borer de la canne (Proceras sacchariphagus) à Madagascar.
- ***Chilocorus bipustulatus var. iranensis***, coccinelle pédatrice de la cochenille blanche du palmier-dattier (Palatoria blanchardi) dans toute la zone saharienne.

- ***Pleurotropis parvulus*** parasite de la mineuse de la feuille du cocotier (*Promecotheca reichei*) en milieu tropical.

5.2. L'utilisation des entomopathogènes

Ce sont des bactéries ou des virus pathogènes que l'on peut élever en milieu artificiel semi-industriellement.

— **exemple** : *Bacillus thuringiensis* utilisé contre les chenilles défoliatrices de bon nombre de cultures.

5.3. Lutte autocide

Elle consiste à lutter contre une espèce par la stérilisation des mâles soit par irradiations aux rayons « γ » soit par alimentation avec des substances spéciales.

— **exemple** : lutte contre la mouche des plaies de bétail.
Cochliomya hominivorax
La stérilisation des mâles a permis en 17 mois l'éradication de ces mouches sur 150 000 km² en Floride.

— lutte contre les glossines (mouches tsé-tsé)
« l'IEMVT a mis au point, sur le terrain et à grande échelle, l'utilisation de la technique de lutte par lâchers de mâles stérilisés. Grâce à cette méthode, jointe à l'utilisation de pièges et écrans insecticides (lutte intégrée), le CRTA de Bobo-Dioulasso a éradiqué une zone de plus de 3 500 km² au Burkina-Faso ».

5.4. Les médiateurs chimiques - substances hormonales d'insectes : attractifs sexuels, phéromones utilisables en :

— avertissement,
— ou en confusion sexuelle.

5.5. Les attractifs et répulsifs

Ce sont des produits chimiques ou hormonaux qui permettent d'attirer les insectes dans des pièges ou qui les éloignent de leur plante hôte. Ainsi la lutte anti-tsé-tsé par pièges et écrans insecticides peut être considérablement améliorée par l'emploi d'attractifs chimiques comme l'acétone et l'octénol..

6. LA LUTTE INTÉGRÉE

Elle associe la lutte chimique à la lutte biologique.

— **exemple** : lutte contre les *Earias*, chenilles défoliatrices des cacaoyers.
— Les pulvérisations classiques sur le feuillage de dicrotophos détruisaient tous les parasites avec le déprédateur. Comme le dicrotophos est un insecticide endothérapique, en l'appliquant au tronc il parvient aux bourgeons terminaux et détruit le phyllophage en respectant les autres insectes.
— De même en changeant légèrement les dates habituelles d'application du pesticide, on détruit les lépidoptères défiolateurs du bananier sans détruire les insectes utiles.

La lutte biologique permet de réduire le coût des traitements contre les insectes. Il suffit de quelques insectes entomophages bien adaptés au départ : leur développement est très rapide au détriment de l'insecte prédateur. Il n'est pas utile de faire des traitements répétés tous les ans comme c'est le cas pour les insecticides chimiques très coûteux. La lutte biologique est donc très intéressante pour les cultures économiquement peu rentables et elle a l'avantage d'être spécifique, laissant en vie les insectes utiles généralement détruits par les insecticides chimiques.

I

PRINCIPAUX INSECTICIDES UTILISÉS EN ZONES TROPICO-ÉQUATORIALES

1. CLASSIFICATION

1.1. Insecticides d'origine végétale

nicotine, pyréthrines, roténone.

1.2. Insecticides d'origine minérale

Groupe des arséniates (Ca, Pb, Na)
Groupe des fluorés (cryolithe, fluosilicates)

1.3. Insecticides de synthèse

1.3.1. INSECTICIDES ORGANO-HALOGENES OU CHLORES

Les insecticides de cette famille ont généralement les propriétés suivantes :

— ils ne sont pas véhiculés par la sève et ne sont pas systémiques ;
— ils sont généralement moins dangereux que les organophosphorés (il y a cependant quelques exceptions) ;
— ils présentent une activité insecticide mais non acaricide, leur usage peut donc entraîner des pullulations d'acariens en éliminant les insectes antagonistes ;
— ils sont le plus souvent plus rémanents que les organophosphorés ; leur emploi régulier peut entraîner des risques d'accumulation dans les sols ou les tissus végétaux ; ce qui justifie certaines limitations de leur usage fixées par les réglementations en matière phytosanitaire.
— **Groupe du DDT,** et composés voisins : DDD, DDT, methoxychlore.
— **Groupe de l'HCH** : HCH, lindane.
— **Groupe du chlordane**, et composés : Produits rémanents efficaces contre les larves souterraines : chlordane, heptachlore, aldrine, dieldrine, endrine, chlordécone.
— **Groupe des dérivés de l'essence de térébenthine** : Non toxiques à l'égard des abeilles, endosulfan, toxaphène, polychlorocamphène.

1.3.2. CARBINOLS

Il s'agit d'un groupe que l'on rattache très souvent au groupe du D.D.T.
Les pesticides lui appartenant sont pratiquement tous des acaricides spécifiques : chlorobenzilate, dicofol, bromopropylate.

1.3.3. INSECTICIDES ORGANO-PHOSPHORES

Ils ont en commun leur origine et leur mode d'action sur les insectes : leur toxicité à l'égard des insectes est due à l'inhibition des cholinestérases indispensables à la transmission de l'influx nerveux.
Les symptômes (incoordination des mouvements, convulsions suivies de la paralysie et de la mort) rappellent en fait ceux de l'empoisonnement au D.D.T.
Les insecticides organophosphorés ont également une activité acaricide.
Certains, après application, restent localisés à la surface des feuilles et tiges : *insecticides externes*.
D'autres pénètrent les tissus végétaux et sont véhiculés par la sève : *insecticides systémiques ou endothérapiques*.
Produit type : parathion

1.3.4. SULFONES ET SULFONATES

Les sulfones et sulfonates ont en commun la présence d'ions soufre dans la molécule et surtout leurs propriétés acaricides. Ils sont en effet pratiquement inefficaces à l'égard des insectes et utilisés seulement pour la destruction des acariens (œufs et larves, mais non adultes). Par ailleurs, ils sont peu toxiques.
Produit type : tetradifon.

1.3.5. CARBAMATES

Le groupe chimique des dérivés de l'acide carbamique est très important. Il comprend des insecticides, mais également des fongicides et des herbicides.
Produit type : carbaryl.

1.3.6. ACARICIDES DIVERS

- Groupe des dérivés benzéniques
- Groupe des dérivés staniques
- Groupe des quinoxalines
- Groupe des benzimidazoles
- Groupe des formamidines

1.3.7. PYRETHRINOIDES DE SYNTHÈSE

Acquisition de la persistance d'action faisant défaut aux P. naturelles.
Produits types : deltamethrine, permethrine, fenvalérate.

1.3.8. BENZOL URÉE

Action par perturbation du processus de formation de la chitine.
Produit type : diflubenzuron.

TABLEAU D'UTILISATION DES PRINCIPAUX INSECTICIDES

— INSECTICIDES — Acaricides (non spécifiques)				TRAITEMENT MODE D'ACTION			LOCALISATION			
matière active et groupe	TOXICITÉ	INSECTICIDE	ACARICIDE	P/CONTACT	P/INGESTION	P/ INHALATION	PARTIES AÉRIENNES	SOLS	SEMENCES	LOCAUX
acéphate (organo-phosphoré)	Peu élevée	x		x	x		x			
aldicarbe (acide carbamique)	Très élevée	x	x	x	x			x		
aldrine	Assez élevée	x		x	x	x	x	x	x	
anitraze	Faible		x	x		x	x			
azinphos éthyl (organo-phosphoré)	Très élevée	x	x	x	x		x			
azinphos méthyl (organo-phosphoré)	Très élevée	x	x	x	x		x			
bacillus thuringiensis	Nulle	x			x		x			
bromophos (organo-phosphoré)	Très faible	x	x	x	x		x			x
carbaryl (Sevin) (carbamate)	faible	x	x	x	x		x			
carbophenothion (organo-phosphoré)	Très élevée	x	x	x	x	x	x	x		
chlorfenvinphos (organo-phosphoré)	Assez élevée	x		x	x	x		x		
cyperméthrine	Moyenne	x		x	x					

(Sous réserve des textes législatifs nationaux).

DOSES D'EMPLOI MATIERE ACTIVE MOYENNE				REMARQUES
Par hectolitre	Par hectare traité	P/quintal traité	Par m^2 ou m^2	Les délais avant récolte indiqués ci-dessous sont ceux relatifs à la réglementation française.
pucerons 60 à 75 g	525 g			Interdit 7 j. à 21 j. avant la récolte. Egalement systémique.
	pucerons 4 kg acariens 5 kg			Action rapide, persistance 40-50 jours - aucune culture alimentaire hommes ou animaux pendant 3 mois suivant l'application. Egalement systémique.
	1 kg poudrage 4 kg sols			Utilisé pour la désinfection du sol là où HCH est condamné par son mauvais goût.
20 à 50 g				Acariens des agrumes et arbres fruitiers.
acariens pucerons 40 g	divers insectes 250 g			Interdit 15 jours avant récolte. Remplacé de plus en plus par carbaryl et monocrotophos.
acariens pucerons 40 g	divers insectes 250 g			Interdit 15 jours avant récolte.
	forêts 1 500 g			Tabac, palmier, caféier, olivier.
pucerons-mouches des cultures 50 g				Interdit 7 jours avant récolte.
75 g à 120 g (aubergine)	1,5 kg (coton)			Sans action contre les pucerons, interdit 7 jours avant récolte.
pucerons-acariens 45 g	mouches (carotte, oignon) 6 kg			Détruit les œufs larves et adultes. Interdit 15 jours avant récolte.
Divers insectes 25 g	mouches 5 kg			Interdit 15 jours avant récolte. Carottes, oignons, poireaux.
	25 à 50 g			Efficace sur pucerons et chenilles.

— INSECTICIDES — Acaricides (non spécifiques)				TRAITEMENT MODE D'ACTION			LOCALISATION			
matière active et groupe	TOXICITÉ	INSECTICIDE	ACARICIDE	P/CONTACT	P/INGESTION	P/ INHALATION	PARTIES AÉRIENNES	SOLS	SEMENCES	LOCAUX
DDT (organo-halogéné) ou zeidane	Assez élevée	x		x			x		x	
delta methrine	Moyenne	x		x	x		x			
diazinon (organo-phosphoré)	Assez élevée	x	x	x	x	x	x	x		
dichlorvos (esters phosphoriques)	Assez élevée	x		x		x	x			x
dieldrine	Très élevée	x		x	x		x	x	x	
diethion (organo-phosphoré)	Assez élevée	x	x	x			x	x	x	
diflubenzuron	Moyenne	x			x					
dioxacarbe (carbamate)	Assez élevée	x		x	x		x			
endosulfan (organo-halogéné)	Très élevée	x		x	x	x	x		x	
endrine (organo-chloré)	Très élevée	x		x	x	x	x			
fenchlorfos (organo-phosphoré)	Très faible	x		x	x					x

DOSES D'EMPLOI MATIERE ACTIVE MOYENNE				REMARQUES
Par hectolitre	Par hectare traité	P/quintal traité	Par m^2 ou m^2	Les délais avant récolte indiqués ci-dessous sont ceux relatifs à la réglementation française.
50 à 200 g	1,25 à 2,5 kg			Remanence 4 à 6 jours. Chenilles du cotonnier, borers (maïs, aubergines).
	10 à 20 g			Insecticide à large spectre.
mouches pucerons-acariens 25-30 g	insectes 150-800 g sol : 6 à 8 kg			Interdit 15 jours avant récolte (21 jours contre mouche de l'olive). Lutte contre borers du riz.
pucerons 100 g Tordeuses 125 g			7,5 g P 100 m^3	Action de choc élevée - rapidement décomposé dans la plante-faible rémanence, interdit 5 jours avant récolte.
50 g				Produit très rémanent - dangereux pour les cultures légumières et fruitières.
acariens pucerons 100 g	mouches 5 à 6 kg	Maïs 60 à 150 g Riz 200 à 250 g		Non dangereux pour les abeilles Interdit 15 jours avant récolte
18,75 g	75 g			Action sur les larves des insectes. Interdit 30 jours avant la récolte.
75 g				Agit sur un grand nombre d'insectes - bon effet de choc. Interdit 8 jours avant récolte.
60 g (Caféier)	chenilles cotonnier 600 g	appât 2 g/kg son		Interdit 15 jours avant récolte. Traitement semences - utilisable qu'en association avec d'autres insecticides et fongicides. Sur aubergines.
20 à 60 g	200 à 600 g éarias du cotonnier			Rémanence égale ou supérieure à la dieldrine.
				Lutte dans les bâtiments (mouches, araignées, blattes) longue rémanence : 3 mois, efficace sur insectes résistants aux insecticides chlorés.

— INSECTICIDES — Acaricides (non spécifiques)				TRAITEMENT MODE D'ACTION			LOCALISATION			
matière active et groupe	TOXICITE	INSECTICIDE	ACARICIDE	P/CONTACT	P/INGESTION	P/ INHALATION	PARTIES AÉRIENNES	SOLS	SEMENCES	LOCAUX
fenitrothion (organo-phosphoré)	Très faible	x	x	x	x		x			
fenthion (organo-phosphoré)	Assez faible	x		x	x	x	x			x
fenvalérate (pyrethrénoïde)	Moyenne	x		x	x		x			
fonofos (organo-phosphoré)	Très élevée	x		x	x		x			
H.C.H. (hexachlorocyclo-hexane)	Assez élevée	x		x	x		x	x		
feptachlore (organo-chloré)	Elevée	x		x	x			x		
iodofenphos	Très faible	x		x	x					x
findane (organo-halogéné)	Assez élevée	x		x	x	x	x	x	x	x
malathion (organo-phosphoré)	Très faible	x	x	x	x	x	x			x
methidathion (organo-phosphoré)	Elevée	x	x	x	x					
mevinphos (organo-phosphoré)	Très élevée	x	x	x	x	x	x			x

DOSES D'EMPLOI MATIERE ACTIVE MOYENNE				REMARQUES
Par hectolitre	Par hectare traité	P/quintal traité	Par m² ou m²	Les délais avant récolte indiqués ci-dessous sont ceux relatifs à la réglementation française.
pucerons carpocapse 50 g	pyrale maïs 750 g			Interdit 15 jours avant récolte.
pucerons et mouches 50-75 g carpocapse 50 g	mouches 500 g		badigeon des bâtiments	Interdit 15 à 21 jours avant récolte.
5 à 10 g				Incompatible avec les bouillies sulfocalciques.
	mouches 2 kg vers blancs et vers fil de fer 3-4 kg			Avant les semis. Est également systémique.
	3 à 5 kg poudrage 15 kg sols			Rémanence 2 à 4 jours en pays tropicaux. Bananier : 15 g M.A./pied.
	100 g			Contre borers maïs.
1 kg (badigeon des murs)			100 g pour 100 m²	Persistance 3 mois, risques presque nuls d'accumulation dans les graisses animales.
insectes divers 8 à 30 g criquets	vers blancs 1,5 kg cacao 300 g M.A.	maïs 50 à 100 mg riz 200 à 250 g	4 g/100 m³ en aérosol fumigation 0,1 g/m² pulvérisation	Ne pas utiliser pour le traitement des étables. Interdit 15 jours avant la récolte sur toute culture. Bananier : 15 g M.A./pied.
pucerons acariens mouches	700-900 g poudrage		4 g 100 m³ en aérosol fumigation 0,5 g m² pulvérisation	Non-phytotoxique - interdit 7 jours avant récolte. Cochenilles ananas : 0,8 ‰.
pucerons 30-40 g	200 à 500 g			Interdit 15 jours avant la récolte.
pucerons acariens 35 g				S'hydrolise rapidement - persistance du produit très faible (3 jours).

— INSECTICIDES — Acaricides (non spécifiques)				TRAITEMENT MODE D'ACTION			LOCALISATION			
matière active et groupe	TOXICITÉ	INSECTICIDE	ACARICIDE	P/CONTACT	P/INGESTION	P/ INHALATION	PARTIES AÉRIENNES	SOLS	SEMENCES	LOCAUX
monocrotophos	Très élevée	x	x	x	x		x	x		
parathion-méthyl (organo-phosphoré) et parathion-ethyl	Très élevée	x	x	x	x	x	x	x		
perméthrine (pyréthrénoïde)	Faible	x		x	x		x			
phosalone (organo-phosphoré)	Assez élevée	x	x	x	x		x			
propetamphos (organo-phosphoré)	Très élevée	x		x	x					x
pyrimiphos éthyl	Assez élevée	x						x		
tetrachlorovinphos	Faible	x		x	x		x			
thiometontres (organo-phosphoré)	Très élevée	x			x		x			
toxaphène (organo-halogéné)	Assez élevée	x		x	x		x			
trichlorfon (organo-phosphoré)	Assez faible	x		x	x	x	x			x

DOSES D'EMPLOI MATIERE ACTIVE MOYENNE				REMARQUES
Par hectolitre	Par hectare traité	P/quintal traité	Par m² ou m²	Les délais avant récolte indiqués ci-dessous sont ceux relatifs à la réglementation française.
25-45 g	300 à 600 g			Contre borers maïs, cochenilles, pucerons.
pucerons 25 g acariens 30-50 g cochenille de l'ananas 40 g	mouches 170 g divers 150-500 g			Excellentes propriétés acaricides - agit sur un grand nombre d'insectes. Interdit 15 jours avant récolte.
4 à 8 kg				Interdit 15 jours avant la récolte.
pucerons-acariens 60 g	pucerons acariens 800 g poudrage			Excellentes propriétés acaricides - agit sur un grand nombre d'insectes - Interdit 15 jours avant récolte et 21 jours s/fourrage.
			0,5 g	Persistance de 3 à 6 mois. Désinsectisation des bâtiments d'élevage.
	charançon du bananier 4 kg/ha			
	300 à 600 g			Lepidoptères, diptères et certains coléoptères.
	pucerons 175 à 200 g			Interdit sur maraichage et à la floraison.
150 g	suivant ravageurs 1 700-5 000 g	noctuelles appât 6 g/kg son		Interdit 21 jours avant récolte.
mouches insectes 100 g	mouches 300 g			Interdit 7 jours avant récolte. Traitement boutures patates douces avec du manèbe.

INSECTICIDES SYSTEMIQUES

Matière active et groupe	Toxicité	Insecticide	Arcaricide	Mode d'action			Dose de matière active nécessaire		Remarques
				par contact	par ingestion	par inhalation	à l'hectolitre	à l'hectare	
diméthoate (organo-phosphoré)	Assez élevée	X	X	X	X		mouches des cultures acariens 30/50 g	pucerons 500 g et tétranyques	Bonne rémanence également insecticide par contact, interdit 7 à 21 jours avant récolte.
disulfoton (organo-phosphoré)	Très élevée	X			X			pucerons 1 kg s/pépinières 1,5 kg leucoptères du café	Dans le sol ou au pied de la plante, seulement absorbé par les racines, détruit les insectes sur la plante 6 à 7 semaines de rémanence.
formothion (organo-phosphoré)	Assez faible (bien que figurant au tableau A)	X	X		X		37,5 g	de 250 à 500 g	Pénètre rapidement dans la plante son action ne se manifeste que lentement, efficace 3 semaines. Interdit 7 à 21 jours avant récolte.
isolane (carbamate)	Très élevée	X		X	X	X	pucerons 10 g s/toute culture	pucerons 200 g	Aphicide spécifique interdit 15 jours avant récolte.
méthamidophos (organo-phosphoré)	Très élevée	X	X	X	X		pucerons 50 g		Persistance 2 à 3 semaines. Toxique pour les abeilles. interdit 21 jours avant récolte.
methomyl (carbamate)	Très élevée	X	X	X	X		tordeuses et pucerons 37 à 50 g		Est également nématicide. Interdit 15 jours avant récolte.
mevinphos (organo-phosphoré) (phosdrin)	Très élevée	X	X	X	X	X	pucerons acariens 35 g		Egalement insecticide par ingestion, effet de choc important, rémanence très faible. Interdit 7 jours avant récolte.

monocrotophos (organo-phosphoré)	Très élevée	X	X	X	X		tordeuses pyrales acariens 30 g	- Earias (coton) - Heliothis armigera (coton) 1000 g	Assez longue rémanence, interdit 3 à 6 semaines avant récolte.
omethoate (organo-phosphoré)	Très élevée	X	X	X	X		pucerons et acariens 62,5 g		Interdit 21 jours avant récolte.
oxydemeton méthyl (organo-phosphoré)	Elevée	X	X		X		pucerons et acariens 25 g	pucerons 200 g	Interdit sur cultures légumières. Interdit 21 jours avant récolte.
phorate	Très élevée	X		X	X			Insectes du sol traitement des semences de coton 5 kg	Rémanence 3 mois.
phosphamidon (organo-phosphoré)	Très élevée	X	X		X		pucerons 20 g doryphores - mouches 30 g carpocapse 40 g	mouches 200 g pucerons 300 g jusqu'à 1500 g	Interdit sur culture légumière, interdit 21 jours avant récolte.
pyrimicarbe (carbamate)	Assez élevée	X			X	X	pucerons 37,5 g		Larves et adultes de coccinelles insensibles au produit. Interdit : 15 jours avant récolte p/fruits, 7 jours pour légumes.
thiométon (organo-phosphoré)	Elevée	X	X	X	X		25 g	200 g	Interdit 21 jours avant récolte.
vamidothion (organo-phosphoré)	Assez élevée	X	X		X		pucerons 50 g acariens	pucerons 500 g Thrips et Phyllophages (cosmophila du cotonnier)	Action au bout de 24 h. rémanence 4 à 6 semaines. interdit sur cultures légumières. Sur les autres, interdit 30 jours avant récolte.

PRINCIPAUX ACARICIDES SPECIFIQUES

Matière active et groupe	Toxicité	Principaux traitements	Dose	Remarques
benzoximate	Peu élevée	Acariens des arbres fruitiers et des cultures maraîchères	30 à 40 g/hl	Interdit 15 jours avant la récolte.
binapacryl (dérivé benzénique)	Assez élevée	Acariens des arbres fruitiers et des cultures légumières	50 g/hl	Interdit 21 jours avant récolte.
bromopropylate (carbinol)	Faible, non dangereux pour les abeilles	Vergers	37,5 g/hl	Acaricide ovicide : agissant par contact sur larves - adultes - œufs des acariens phytophages - bonne rémanence.
cyhexatin	Faible	Acariens	30 g/hl	Agit par contact.
dicofol (carbinol)	Assez faible, non dangereux pour les abeilles	Acariens sur toutes cultures	50 g/hl	Agit sur les œufs, les larves et adultes. Interdit 15 jours avant récolte.
fenizon (sulfonates)	Dangereux	Efficace sur les œufs et les larves, mais pas sur les adultes	50 g/hl	Agit par contact et ingestion. Provoque la stérilité des femelles.
tetradifon (sulfones et sulfonate)	Faible, non dangereux pour les abeilles	Acariens sur toutes cultures	16 g/hl	Interdit 7 jours avant récolte.

II

PRINCIPAUX FONGICIDES UTILISÉS EN ZONES TROPICO-ÉQUATORIALES

Les principales fongicides se répartissent dans les catégories suivantes :

— Produits minéraux (cupriques en particulier)

— Produits organiques :

- Groupe de carbamates et substances voisines
- Groupe des organo-cupriques
- Groupe des organo-mercuriques
- Groupe des quinones et dérivés
- Groupe des phtalimides
- Groupe des dérivés du benzène - naphtalène et phénols
- Groupe des crotonates
- Groupe des crésols
- Groupe des glyoxalidines

1. PRODUITS MINÉRAUX

1.1 A base de cuivre

Ce sont d'abord les produits à base de sulfate de cuivre : bouillie bordelaise, bouillie bourguignonne et bouillie Ibadan.

- Bouillie bordelaise :

Sulfate de cuivre 1 à 2 % + chaux vive 0,5 à 1 %

On dissout le sulfate de cuivre dans l'eau, puis on verse le lait de chaux jusqu'à neutralité, enfin on ajoute l'eau nécessaire pour obtenir le titre voulu en sulfate de cuivre.

- Bouillie bourguignone :

Sulfate de cuivre 1 à 2 % + carbonade de soude 1,3 à 2,6 %.

Le commerce présente des bouillies prêtes à l'emploi titrant 15 % de cuivre, à utiliser à raison de 2,5 kg par hectolitre.

- Bouillie Ibadan ou « Carbide Bordeaux » :

Sulfate de Cu 1 kg + carbure de calcium 400 g.

D'une manière générale, les bouillies à base de sulfate de cuivre sont peu

coûteuses, très efficace et d'une bonne rémanence, même en saison de pluies (surtout lorsqu'elles sont additionnées d'adhésif et de mouillant).

Toutefois leur préparation est délicate, surtout pour la bouillie bordelaise : de mauvais dosages présentent une phyto-toxicité marquée, et un effet dépressif du cuivre est parfois constaté sur la production. Elles posent, de plus, un problème de récipients : les fûts d'essence utilisés généralement ne résistent pas à la corrosion, les récipients en ciment sont lourds et onéreux, les fûts de bois sont rares.

La conservation des bouillies bourguignonnes du commerce est délicate.

Aussi la faveur va aux suspensions aqueuses d'**oxychlorure de cuivre** ou d'oxyde cuivreux plus faciles à préparer, mais moins rémanentes et sans dépôt apparent, ce qui ne facilite pas le contrôle des opérations.

L'oxychlorure de cuivre est présenté généralement sous forme de poudres titrant 50 % de cuivre métal, utilisées à des concentrations de 0,5 %. Légèrement plus efficace que l'oxychlorure, il se conserve moins bien à l'humidité.

Les produits commerciaux à base d'oxychlorure en suspension huileuse contiennent jusqu'à 25 % de cuivre métal. Dilués dans des huiles non phytotoxiques dans la proportion de 10 % ils permettent des atomisations à volume réduit (50 à 100 l/ha) soit par appareils terrestres, soit par traitements aériens. La finesse des particules de cuivre associée au pouvoir fongistatique propre des huiles-support explique l'efficacité de ces traitements à volume réduit, en particulier contre la cercorsporiose du bananier.

L'acétate neutre de cuivre quoique minéral, est un produit cuprique utilisé contre les mildious. Il ne « marque pas » et il est très soluble donc entraîné par les pluies. Il est actif à des concentrations de 0,5 à 2 kg d'acétate par hectolitre.

1.2. A base de soufre

— Soufre en fleur
— Soufre jaune sublimé 99 % de S
— Soufre jaune trituré 99 % de S
— Soufre jaune ventilé 99 % de S
— Soufre noir précipité brun (40-50 %)
— Soufre noir précipité gris (35 %)
— Soufre micronisé
— Soufre mouillable (180 % minimum)
— Bouillies sulfocalciques 15 à 25 % de S des polysulfures.

Ces produits ont essentiellement une action préventive contre les oïdiums ; ils sont phytotoxiques au-dessus de 30° C.

2. PRODUITS ORGANIQUES

2.1. Carbamates

Ce grand groupe de substances organiques de synthèse peut se subdiviser en quatre classes suivant l'acide d'où sont issus les différents produits.

2.1.1. DÉRIVÉS DE L'ACIDE CARBAMIQUE ET BENZIMIDAZOLES

Parmi les fongicides de ce groupe, ceux actuellement commercialisés ont la caractéristique de faire preuve de propriétés systémiques :

— carbendazime — thiphanate éthyl — thiobendazole
— bénomyl — thiophanate méthy

2.1.2. DÉRIVÉS DE L'ACIDE THIOCARBAMIQUE

De par leur structure, et surtout leur processus de transformation à l'intérieur du végétal, certains sont très proches du point de vue activités des dérivés de l'acide carbamique (propriétés systémiques, spectre d'action assez large). En effet l'ester méthylique de l'acide benzimidazole carbamique est un métabolite de ce type de fongicide.

— prothiocarbe : spécifique des phycomycètes.

2.1.3. DÉRIVÉS DE L'ACIDE DITHIOCARBAMIQUE

Les dérivés des acides dithiocarbamiques constituent une famille chimique très importante du point de vue phytosanitaire qui compte, outre de nombreux fongicides, des herbicides (diallate, triallate, E.P.T.C. etc.) et des insecticides (carbaryl).

Ces fongicides ont en commun leur absence totale de phytotoxicoté sauf pour la nabame et même une certaine influence favorisante sur la végétation, une polyvalence assez grande, et une très faible toxicité.

— **ferbame** : fongicide légèrement plus faible que le zirame, mais il a un effet favorable sur la végétation traitée.

— **zirame** : efficace contre les rouilles, anthracnoses et cercosporioses à doses faibles : 200 g de m.a./ha contre la cercosporiose du bananier.

— **nabame**

— **zinèbe** : efficace en bouillies dosant 200 g m.a./hl sur la plupart des champignons.

— **manèbe** : propriétés voisines de celles du zinèbe, mais plus actif contre les cercosporioses et certains mildious ; utilisable également en traitement des semences.

— **mancopper**

— **mancozèbe** : propriétés voisines de celles du manèbe, mais moins phytotoxique sur certains arbres fruitiers.

— **propinède** : très voisin du manèbe.

— **métam-sodium** (vapam) : c'est un fongicide fumigant, efficace contre les fusarium et les rhizoctonia. Mais également utilisés contre les nématodes en stérilisation temporaire des sols et comme herbicide.

— **cuprobame** : utilisé surtout pour la désinfection des semences.

2.1.4. DITHIOCARBAMATES ÉGALEMENT, MAIS DÉRIVÉS DES THIURAMES

thirame : employé surtout pour la désinfection des semences : il est également efficace contre les anthracnoses et les rouilles (*Puccinia polyspora* du maïs) ; stable aux fortes températures, il présente une rémanence de 2 à 3 semaines.

carbatène : voisin du thirame.

2.2. Dérivés du benzème

Ce groupe chimique est, du point de vue phytosanitaire un des plus important.

Il comprend essentiellement des insecticides (groupe des phénois et crésols ou groupe des colorants nitrés, bynapacryl, etc.) et des fongicides. Ils ne sont pratiquement pas toxiques.

H.C.B. : (hexachlorobenzène) désinfection des semences.

P.C.N.B. ou quintozène : désinfection des sols et des semences.

D.R.B. : efficace contre certaines rouilles, les phytophthora et les champignons à zoospores.

T.C.P.N.

2.3. Dérivés du phénol

Dans ce groupe chimique assez restreint et voisin des dérivés du benzène, on trouve également deux fongicides de l'oïdium et dont l'un a également une action acaricide.

— dinocap : spécifique des oïdiums non phytotoxique même à haute température à la dose de 50 g de m.a./ha.

— binapacryl : employé contre les acariens et contre les oïdiums.

2.4. Quinones

Les dérivés quinoniques ne sont pas toxiques. Ils sont assez polyvalents. Le premier est réservé au traitement des semences.

— chloranil : traitement des semences (200 g/q de produit commercial à 96 %).

— dichlone : action curative.

— dithianon.

2.5. Dicarboximides

Le groupe des dicarboximides comprend les phtalimides et les hydautoïnes. Ces fongicides sont en général polyvalents et très peu toxiques. Il existe cependant un composé phosphoré spécifique des oïdiums.

- Phtalimides
  - — **captane** : actif contre la fonte des semis (sorgho, arachide), les mildious et certains charbons. Légèrement systémique. Il est efficace notamment contre l'anthracnose du caféier (bouillie à 0,5 % de produit titrant 50 % de M.A.).
  - — **folpel.**
  - — **captafol.**
  - — **ditalimphos.**
- Autres dicarboximides :
  - — **iprodione.**
  - — **vinchlozoline.**
  - — **procymidone.**

2.6. Amines

La constitution de ce groupe chimique repose sur la présence dans la formule d'une fonction amine (NH_2) ou d'une fonction dérivée (NH). Il existe beaucoup de substances qui seraient susceptibles d'être placées dans ce groupe, mais, chaque fois que cela est possible, il est préférable de prendre en compte une fonction beaucoup plus caractéristique de la formule permettant de rattacher la substance à un groupe plus spécifique.

On trouve dans ce groupe :

— **dicloran** : contre sclérotinia et botrytis

— **chlorani-forméthane.**

— **carboxine**
— **oxycarboxine** } propriétés systémiques-spécifiques des basidiomycètes (Rhizoctonia, charbon)
— **fenfuraur**

— **cymoxamil.**

2.7. Diazines

Parmi ce grand groupe chimique, on trouve des substances à action fongicide mais également herbicide et nématicide. Il est composé de nombreux dérivés, en particulier les quinoxalines, les pyrimidines, les pyridiazines... Certains de ces fongicides sont pourvus de propriétés systémiques.

— **Quinoxalines** : chinométhionate

— **Pyrimidines** : éthyrimol - diméthirimol.

2.8. Héterocycles soufrés

Les corps appartenant à ce groupe ont dans leur formule deux atomes d'azote comme les diazines, ainsi qu'un atome de soufre. Ces trois atomes peuvent être disposés de façon différente sur un noyau cyclique. Ces composés ont une action fongicide et certains d'entre eux une action nématicide.

— **dazomet** : thiadiazines

— **étridiazole** : thiadiazoles

2.9. Sulfamides et dérivés soufrés

Cette famille de dérivés contient de nombreux corps dont beaucoup sont utilisés en médecine. Ils contiennent dans leur formule un ou plusieurs atomes de soufre liés ou non à un atome d'oxygène.

— **dichlofluamide**.

— **tolylfluamide**.

2.10. Hétérocycles divers

— **quinoléine**

A partir de l'oxyquinoléine-base dont la formule comprend deux noyaux benzéniques sur lequel se trouve un atome d'azote en position 1, 2, 3 ou 4, il existe de nombreux composés organiques comprenant ou non un ion métal (zinc, cuivre). Ceux-ci ont une action fongicide et bactéricide.

— **éthoxyquine** : utilisé pour la désinfection des sols (trachéomycoses - fusarium).

— **morpholine** (dodemorphe, tridemorphe, fenpropimorphe).

— **isoxazole** (drazoxolon, hymexazol)

— **imidazole** (prochloraz, imazalil)

— **triazole** (triadimefou, dichlorabutrazol, triadimenol, bitertanol...).

2.11. Monoethyl Phosphites métalliques

Ce groupe est représentatif d'une nouvelle génération de fongicides dont il semble que l'action ne soit plus une action directe sur le parasite mais une action d'induction de résistance du végétal. Cette action se retrouve également dans d'autres groupes (prothiocarbe, curzate).

Un produit est actuellement commercialisé : l'éthyl phosphite d'aluminium (Aliette), qui a des propriétés systémiques et est spécifique des phycomycètes.

2.12. Guanidines

Dans ce groupe, trois substances à action fongicide sont actuellement connues : doguadine, triacétate, de guazatine.

2.13. Aliphatiques divers

— chloropicrine
— aminobutane.

REMARQUES

1) Il existe en outre une gamme très vaste de produits composés ; de nombreux fabricants cherchent en effet à mettre à la disposition de leurs clients des formulations polyvalentes :

— insecticides associés

— insecticides + fongicides

Leur utilisation peut être intéressante et économique lorsque plusieurs parasites s'attaquent simultanément à une culture.

2) On peut aussi être amené à réaliser divers mélanges de spécialités. Les compatibilités sont données par les usines productrices sous leur responsabilité.

La compatibilité de deux ou plusieurs pesticides n'implique pas obligatoirement la compatibilité de spécialités analogues, provenant d'usines différentes. Il est indispensable de consulter les fabricants avant tout mélange inhabituel de pesticides.

PRINCIPAUX FONGICIDES

Matière active	Toxité	Principaux traitements	Phyto-toxique	S/partie aérien.	Traitement S/racines	Traitement S/sols
benomyl (carbamate)	Très faible	Verticilliose fusariose - champignons pathogènes	Non	x	x	x
captafol (difolatan)	Très faible	Anthracnose Phytophthora	Non	x		
captane (phtalimide)	Très faible	Nombreuses maladies cryptogamiques	Non	x	x	
carbendazine	Faible	Tavelures - Fusariose - Pietin		x		
cuivre	Faible	Mildiou	Oui	x		
cymoxamil	Très faible	Phycomycètes	Non	x		
dithianon	Très faible	Divers champignons, arbres fruitiers		x		
dodine ou doguadine	Faible	Tavelure Anthracnose		x		
edifenphos	Très faible	Pyriculariose du Riz.	Non	x		
iprodione	Très faible	Botrytis Sclerotinia Momlia	Parfois	x	x	
manèbe (dithiocarbamate)	Très faible	Anthracnose Septoriose Cercosporiose	Parfois	x	x	
mancozèbe	Très faible	Id Manit Recommandé Fruits et maraichage		x	x	
oxyquinoléate de cuivre (hydroxyde de la quinoléine)	Très faible	Tavelures	Possible	x	x	
soufre		Oïdum	Possible	x		
thiophomate metyl	Très faible	Verticillioses, Fusarioses, Oïdimus, Rouilles, Botrytis	Non	x	x	
thirame (dithiocarbamate)	Très faible	Anthracnose		x	x	
zinèbe (dithiocarbamate)	Très faible	Mildiou Black-Rot		x		
zirame (dithiocarbamate)	Très faible	Rouilles Alternarioses Septorioses	Non	x		

Utilisation - Quantité de matière active			Remarque
Quantité par hectolitre sur végétation	Quantité par quintal de semences	Traitements sols	
25-50 g	1,5 kg	7,5 g/m2	Cercosporiose du bananier Aubergine, laitue, agrumes. Semences arachides à 2 ‰
120-250 g			Sur hévéas, agrumes, légumes Semences arachides à 2 ‰
150-250 g	200 à 300 g de poudre à 80 % (riz)		Pas actif s/rouilles. Ne pas mélanger à l'huile blanche, bouillie bordelaise et oléoparathions
30 à 50 g			Compatible avec les insecticides courants
200 à 500 g			Essentiellement sur Fruitiers
50 g			
50 à 100 g			Agit préventivement sur tavelure
150-200 g			
150-175 g			Très actif sur de nombreux champignons ; bonne persistance
160-280 g	200-300 g		Très voisin du Zinèbe Toxique parfois sur jeunes plants
70-140 g			Légère action acariacide
150 à 175 g			Très actif sur de nombreux champignons ; bonne résistance
80 g	200-300 g		Très polyvalent
600-1000 g			Soufre poudrage peut être phytotoxique p/température élevée. Brûlures possibles végétation suivant conditions atmosphériques
175-320 g	300-450 g maïs-mil		Stable sous forte température Persistance 2 à 3 semaines
200-250 g			Très polyvalent-favorise la végétation
175-180 g			Incompatible avec huiles de pétrole le cuivre et les composés mercuriques.

PRINCIPES FONGICIDES SYSTÉMIQUES : TRAITEMENT

Matière active et groupe	Toxicité	Principaux traitements	Localisation					Quantité		Traitements sols ou semences	Remarques
			Phytotoxique	Parties aériennes	Racines	Sol	Semences	Quantité p/hectolitre s/végétation (matière active)	Quantité hectave (matière active)		
benomyl	Très faible	Oïdium - anthracnose - fusariose septorioses	Non	X	X	X		de 25 à 50 g	de 150 à 300 g		Bonne persistance - action sur tout préventive - ne tache pas la végétation
carbendazim	Très faible	Maladies aériennes des céréales		X	X			Tavelures des arbres 30 g	Maladies aériennes des céréales - 300 g		Action préventive ou curative persistance 2 à 3 semaines.
cymoxanil	Très faible	Phycomycètes	Non	X				50 g			
dodine ou doguadine	faible	Tavelures anthracnose		X				50 à 100 g			Agit préventivement sur les semences.
phosethyl-Al	Très faible	Phycomycètes	Non	X				150 à 175 g			Très actif sur de nombreux champignons bonne persistance.
thiabendazole (thiadiazoles)	Très faible	Oïdium-carie septoriose du blé - Rhizoctonia		X			X	Bananes 45 g		Carie, septoriose charbon : 250 g quintal d'une poudre à 40 % MA	Maladies des cultures tropicales, bananes en particulier - peut être utilisé en traitement des fruits après récolte.
thiophonate methyl	Très faible	Verticillioses, Fusarioses, oïdiums, Rouilles, Botrytis	Non	X	X						

III

HERBICIDES

L'utilisation des herbicides est directement liée au coût de la main-d'œuvre ; si ce dernier est très peu élevé, l'emploi des herbicides se justifie mal sur le plan économique, pour autant que le désherbage manuel soit techniquement possible.

— **les herbicides non sélectifs** sont employés comme **herbicides totaux** à des doses et des époques qui permettent la destruction de toute la végétation existante (avant semis, plantation ou même levée). Des doses ou techniques particulières permettent de les employer à titre sélectifs ;

— **les herbicides dits sélectifs** sont plus actifs sur telle ou telle adventice à des stades divers d'évolution ; leur efficacité dépend donc de leur mode d'application (date et dose). Utilisés à forte dose, ils deviennent des herbicides totaux. Utilisés avant ou après le semis de la culture et avant la levée des adventices ce sont des herbicides employés en **pré-levée**.

Utilisés après la levée des adventices à des doses non létales pour la culture, ce sont des herbicides employés en post-levée.

Le mode d'application de l'herbicide dépend de ses modalités d'action :

— un produit agissant par le contact sera utilisé en post-levée ;

— un produit absorbé par les racines, stable et rémanent, sera utilisé en pré-levée ou en désherbage total suivant la concentration ou l'époque d'application ;

— un produit absorbé par les feuilles et fugace, pourra être employé en post-levée, à titre sélectif.

Le tableau ci-après souligne les caractéristiques des principaux produits en indiquant les doses moyennes d'emploi et les principales utilisations possibles.

PRINCIPAUX HERBICIDES

Matière active et groupe	Toxicité	Utilisation	Doses	Remarques
Désherbants sélectifs acide 2,4 - dicholorophenoxyacétique (2,4-D) (dérivé aryloxyacétique) voir DNOC	Assez faible	Céréales dont riz Vergers Maïs (sélectif) Sorgho	0,5 - 1 kg/ha 1 kg/ha 1,2 kg/ha	Utilisé sous forme très diverses Désherbage céréales et prairies Sont résistants : de nombreuses monocotylédones - Dans les vergers appliquer durant ralentissement végétation.
alachlore (acétanilide)	Très faible	Maïs Tomates repiquées	2,4 kg/ha 2 kg/ha	Application en pré-levée du maïs Action rapide, persiste 2 à 3 mois
amétryne (triazine)	Très faible	Maïs Ananas Canne à sucre	2,4 à 3,2 kg/ha	Efficace sur graminées et sur nombreuses dicotylédones annuelles. Compatible avec les phytohormones.
aminotriazole + thyocyanate d'ammonium (triazole)	Très faible	Chiendent et vivaces à racines profondes. Désherbage maïs (non sélectif) et riz en sec	5 kg/ha 3,6 kg/ha	Peu persistant dans le sol - non sélectif - détruit les plantes semi-aquatiques des fossés et canaux.
asulane (carbamate)	Très faible	Destruction des rumex, désherbage des légumineuses fourragères	1,6 kg/ha	Spécifique des rumex, bien supporté par les graminées et légumineuses fourragères. Doté de propriétés systémiques.
atrazine (triazine)	Très faible	Vergers pommiers Maïs Banane Sorgho grains	3 kg/ha 2,5 kg/ha 4 kg/ha 2 kg/ha 1 kg/ha	Durée d'action 2 à 6 mois Remarquable efficacité à l'égard des adventices et de certaines dicotylédones. En post-levée du sorgho En pré-levée du sorgho

Matière active et groupe	Toxicité	Utilisation	Doses	Remarques
bentazone	Très faible	Céréales (très sélectif vis-à-vis céréales)	1,25 kg/ha	Utilisable du tallage à la montaison
butraline (dinitroaniliné)	Très faible	Coton Oignon	2 kg/ha 3,6 kg/ha	Bien que sensible à la lumière, peut être utilisé sans incorporation en majorant la dose de 1/8.
butylate (thiolcarbamate)	Très faible	Maïs	4 kg/ha	Rapidement absorbé par les racines - les terres riches en matière organique bloquent son efficacité, - ne pas utiliser sur sorgho et millet.
chlortoluron (urées substituées)	Très faible	Désherbage des blés et orges Vulpin-paturin Ray grass	2,4 kg/ha	Appliquer entre semis et levée de la céréale, vigoureuse au début du tallage. Absorption radiculaire et foliaire.
cyanazine (triazine)	Assez faible	Maïs Pois	2 kg/ha 0,75 kg/ha	Rémanence moyenne dans le sol. Utiliser après semis et avant levée de la culture ; plantes vivaces résistantes.
dalapon (acides organiques halogénés)	Très faible	Vigne, vergers à pépins, ananas, bananiers Destruction des roseaux et semi-aquatiques des canaux	5 à 8 kg/ha	Très peu toxique pour le poisson applicable en pulvérisation sur le feuillage des plantes à détruire (en pleine croissance)
dipropétryne (triazine)	Très faible	Coton	3 kg/ha	Recommandé en sol léger.

Matière active et groupe	Toxicité	Utilisation	Doses	Remarques
diuron (urées substituées)	Très faible	Vigne - vergers à pépins Légumineuses fourragères Cannes à sucres - ananas Hévéas (en pépinières)	2,5 kg/ha 1,6 à 2,4 kg/ha 1,6 kg/ha	Pénètre par les racines - assez longue persistance dans le sol - applicable pendant repos végétatif s/ mauvaises herbes au stade plantule.
diuron + aminotriazole + thiocyanate de sodium (voir 2,4-D) (Phénols)	Très élevé	Désherbage lin Céréales Arbres fruitiers (sélectif)	2 kg/ha 2,5 à 5 kg/ha 5 kg/ha	Pénétration dans le végétal intense et rapide. Sans action sur graminées et vivaces, recommandé en remplacement du 2,4 D au voisinage de cultures sensibles.
fenoprop 2,4,5-TP phythormone de synthèse (phénoxy-pronionique)	Très faible	Riz (de semis ou repiqué) Maïs	1,5 kg/ha 1,2 kg/ha	Absorbé par les parties vertes de la plante sur maïs, contre les gesses, les liserons, les ronces (jeunes) - très bonne efficacité sur les cypéracées.
fluométuron (urées substituées)	Très faible	Coton	1,75 kg/ha	Pénètre surtout par les racines et peut avoir une persistance importante dans le sol.
glyphosate	faible	Toutes cultures (débrouissaillant)	1 000 à 4 000 g/ha	Produit irritant pour la peau et les yeux.
linuron (urées substituées)	Très faible	Divers légumes Maïs Pommmes de terre	0,5 à 0,75 kg/ha 2,5 kg/ha 1 kg/ha	Agit par contact ou est absorbé par les racines - rémanence 3 à 4 mois.
2,4-MCPA (dérivé aryloxy-acétique)	Assez faible	Lin Riz — semis — repiqué	0,2 kg/ha 0,3 kg/ha 0,8 kg/ha	Action plus nuancée que le 2,4-D moins phytotoxique s/plantes cultivées.

Matière active et groupe	Toxicité	Utilisation	Doses	Remarques
méthabenz thiazuron (urées substituées)	Très faible	Désherbage céréales en particulier riz pluvial Pois - Féveroles	1,75 kg/ha post-levée 2,8 kg/ha pré-levée 2,8 kg/ha	Principalement par absorption radiculaire également foliaire s/jeunes adventices stade plantule - action s/ graminées - nombreuses dycotylédones - sans efficacité s/vivaces.
metobromuron (urées substituées)	Très faible	Pommes de tere Artichauts Tabac	2 kg/ha 1,5 kg/ha	Efficace contre diverses dycotylédones, utiliser après buttage et avant levée.
métribuzine (triazine)	Très faible	Pommes de terre Tomates repiquées	0,7 kg/ha 0,5 kf.ha	Absorbé par racines et feuillage actif contre dicotylédones et graminées, utiliser après buttage, avant levée ou avant plantation.
molinate (dérivé de l'acide carbamique)	Assez faible	Rizières p/panicum et Typha même non asséchées	4,5 kg/ha	Absorbé lentement par le végétal soit en pré-semis ou en pré-repiquage (également en post-levée du riz).
oxadiazon	Assez faible	Desherbage du riz pluvial et du riz irrigué, semis direct et repiqué.	750 à 1 500 g/ha	Bouteilles pour applciation spéciale en rizière.
paraquat (ammonium quaternnaire)	Assez élevée	Toutes cultures	100 à 600 g/ha	Sur patate douce : 600 g/ha dans 800 l eau Sur hévéas : 100 g/ha dans 300 l eau.
pendimethaline	Faible	Coton - arachide - soja - niele, maraichage.	3 à 4 l/ha	
propachlore (groupe des amides)	Très faible	Sorgho - Maïs Oignons, bulbilles (sélectif espèces vivaces).	4 kg/ha 4,5 kg/ha	Au moment du traitement, les adventices ne doivent pas être en cours de végétation.

Matière active et groupe	Toxicité	Utilisation	Doses	Remarques
propanil (groupe des amides)	Très faible	Désherbage du riz (sélectif riz)	3,750 kg/ha	Est applicable en post-levée - agit par contact sur les mauvaises herbes au stade 2/3 feuilles - efficace sur nombreuses dicotylédones et monocotylédones.
simazine (triazine)	Très faible	Maïs Vignes Pépinières forestières Vergers fruits pépins	2,5 kg/ha 3 kg/ha 1 kg/ha 2 à 3 kg/ha	Remarquable efficacité sur graminées adventices et nombreuses dicotylèdones. — absorbée exclusivement par les racines — persiste plusieurs mois dans le sol.
terbutryne (triazine)	Très faible	Blé - Maïs Pommes de terre Tournesols-pois	1 à 2,5 kg/ha 2 kg/ha	Efficace sur graminées advendices - vulpin ray-grass nombreuses dicotylédones - applicable en post-semis et pré-levée de la culture.
trifluraline (dinitroaliniliné)	Très faible	Coton Tomates repiquées	0,96 kg/ha 1,2 kg/ha	Photodégradable. Doit être incorporé au sol immédiatement après le traitement.
Débroussaillants acide 2,4,5-trichlorophénoxyacétique 2,4,5-T (ariloxy-acétique)	Assez faible	Aussi désherbant : maïs, riz, Débroussaillement Destruction : végétaux ligneux et dévitalisation des souches. (Badigeon des souches	750 g/ha 175 g/hl	Peu sélectif, est utilisé principalement sur ligneux et souches à dévitaliser. Prendre toutes précautions pour éviter les dégâts sur cultures voisines.
2,4-D + 2,4,5 T		Débrousaillant destruction des végétaux ligneux et arbustes indésirables.		Très efficaces contre les ronces, les arbustes, et pour dévitaliser les souches.
glyphosate	Très faible	Vivaces herbacées	1,8 à 4,0 kg/ha	Aussi désherbant pour ananas et hévéas. Très efficace sur Imperata et Cypéracées bulbeuses. Absorbé par les feuilles. Action systémique.

IV

SUBSTANCES DE CROISSANCE

Une substance de croissance est un produit d'origine synthétique ou végétale susceptible d'exercer une action physiologique sur le végétal traité.
— accélération de la germination des graines,
— accélération ou ralentissement de la croissance,
— inhibition de la germination, de la reprise des boutures, de la mise à fruit,
— prévention de la chute des fruits ou éclaircissage - défoliation,
— effet sur la précocité, etc.

Matière active	Toxicité	Utilisation	Remarques
4 CPA (tomatone)		Nouaison des tomates	**Pour tous ces produits suivre scrupuleusement les recommandations des fabricants.**
acide gibberellique	Très faible	Induction de la parthénocarpie sur les tomates - citrus - vignes.	
thiadiazuron		Défoliation du cotonnier	Ethrel
ethephon		Ananas, hévéas, tomates, fruits.	
produits divers dont la composition n'est pas diffusée par les fabricants			
rootone		Stimulation de l'enracinement	(Semences et boutures)
transplantone		Repiquage et transplantation. Bouturage. Pour l'ébourgeonnement du tabac	
exubérone			
off shoot T			

V

LUTTE CONTRE LES NÉMATODES

Les nématodes, parasites des racines des végétaux, se développent dans n'importe quel sol, mais plus particulièrement dans les sols légers et humides. (Voir les chapitres relatifs aux diverses cultures en ce qui concerne les nématodes).

PRINCIPES DE LUTTE
— Eviter l'infestation des terrains sains par l'introduction de plants contaminés.

PRINCIPAUX NÉMATICIDES

Matière active et groupe	Toxicité	Utilisation	Doses	Remarques
aldicarbe	Très élevé	Nématodes plantes ligneuses Betteraves	10 kg/ha 1 kg/ha	Voir tableau insecticides-acaricides
bromure de méthyle	Très élevé	Traitement des sols (nématicide, insecticide, fongicide, herbicide)	50 g/m2	Utilisé sous forme liquide avec des appareils applicateurs spéciaux.
carbofuran	Très élevé	Bananier	2,5 kg/ha	Nématicide non phytotoxique pour de nombreuses plantes. Eloigner le bétail des zones traitées durant 4 semaines.
dazomet	Très faible	Nématodes Désinfection fongique du sol	50/70 g/m2 50/70 g/m2	Agit par vapeur sur grand nombre de nématodes phytophages et champignons du sol. Epandu sur le sol doit être rapidement enfoui. Est également fongicide.
dichloropropane - dichloropropène	Brûlures par contact avec la peau	Traitement némacide des sols	300 l/ha	Phytotoxique attendre 3 semaines avant mise en culture.
ethoprophos	Très élevée	Nématodes de l'ananas, du palmier, des agrumes.	10 kg/ha	
metam-sodium	Elevée	Agrumes, maraichages, pépinières.	500 kg/ha	Fumigant

Pour cela, il faut traiter soigneusement les planches, les châssis et les bacs de semis ou de pépinière, de manière à **produire des plants indemnes de nématodes.**

— Réduire le taux d'infestation par des rotations ou des pratiques culturales tendant à rompre la permanence des plantes-hôtes.

— Traiter les champs en cas d'infestation trop prononcée.

A noter que les nématicides sont des produits généralement toxiques, donc grande prudence lors de leur utilisation, en particulier sur cultures de racines ou de tubercules.

VI

LUTTE ANTI-ACRIDIENNE

En zone tropicale, les criquets ravageurs d'importance économique majeure sont au nombre d'une quinzaine. Ils sont répartis selon leur aptitude à la grégarisation en deux grandes catégories : les **locustes** et les **sauteriaux.**

Les locustes, dont font partie les grandes espèces migratrices comme le **Criquet pèlerin** *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775), le **Criquet nomade** *Nomadacris septemfasciata* (Serville, 1838), le **Criquet migrateur** *Locusta migratoria* (Linné, 1758) ont la capacité de passer d'une phase solitaire inoffensive à une phase grégaire très dangereuse pour les cultures, sous la pression d'une élévation brutale de densité des populations. Cette transformation phasaire, d'ailleurs réversible, a lieu généralement en des aires grégarigènes assez bien connues, ce qui permet de développer une stratégie de lutte préventive, basée sur une surveillance permanente, pour intervenir sur les foyers de grégarisation dès leur apparition.

Les sauteriaux comme le **Criquet sénégalais** *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877), peuvent pulluler, bien qu'à une moindre échelle, quand des circonstances écométérologiques sont favorables. Ils constituent alors une menace pour l'agriculture locale, ou pire, régionale. Cette explosion démographique, à l'inverse des locustes, peut se produire dans n'importe quel lieu de l'aire de distribution de l'espèce. A l'heure actuelle, la stratégie de lutte est essentiellement curative. La détection des pullulations se fait par les agriculteurs ou les agents des services nationaux de la protection des végétaux.

La lutte chimique, utilisée à bon escient, reste le moyen le plus efficace et le plus économique pour réduire une pullulation acridienne de quelque ampleur ou pour juguler à temps un départ d'invasion. La lutte contre les larves, grâce à une détection précoce, donne les meilleurs résultats. Contre les ailés, il est conseillé d'effectuer les traitements une fois les insectes posés au sol, préférentiellement sur des populations en ponte, pour bénéficier d'une relative sédentarisation des individus.

Selon l'importance des surfaces infestées et le personnel disponible, plusieurs techniques d'épandage sont à envisager : appâts empoisonnés, sacs poudreurs, pulvériateurs centrifuges à piles, pulvérisateurs à ultra bas volume (UBV) montés sur véhicules tout-terrain, épandages aériens avec des aéronefs équipés de dispositifs centrifuges.

Le choix des acridicides est assez large. Il est en pleine expansion avec l'entrée en force des pyréthrinoïdes et des dérégulateurs de croissance, ces derniers permettant de lutter spécifiquement contre les larves.

Appâtages : Support son de blé ou tourteau d'arachide. 50 kg d'appât à l'hectare :
Bendiocarbe 0,5 % à la dose de 25 g de m.a./ha
Carbaryl 2% à la dose de 300 g de m.a./ha

Poudrages : 5 à 10 kg à l'hectare :
Propoxur 1 à 5 % à la dose de 300 g de m.a./ha
Carbaryl 5 à 10 % à la dose de 720 g de m.a./ha
Lindane 2 % à la dose de 160 g de m.a./ha
Fenitrothion à la dose de 250 g de m.a./ha
Bendiocarbe à la dose de 100 g de m.a./ha
Chlorpyriphos à la dose de 200 g de m.a./ha

Pulvérisation : – à très bas volume (5 à 25 l/ha)
– à ultra vas volume, aérienne et terrestre (0,5 à 5 l/ha) :

	Sauteriaux	Locustes
Bendiocarbe	80,0 g/ha	100,0 g/ha
Carbaryl	250,0 g/ha	–
Chlorpyriphos	150,0 g/ha	200,0 g/ha
Deltaméthrine	12,5 g/ha	12,5 g/ha
Fénitrothion	250,0 g/ha	500,0 g/ha
Lambdacyhalothrine	20,0 g/ha	20,0 g/ha
Malathion	500,0 g/ha	1000,0 g/ha
Téflubenzuron	25,0 g/ha	25,0 g/ha

VII

LUTTE ANTIAVIAIRE

CONTRE LES MANGE-MIL, ET LES PREDATEURS DE SEMENCES EN PLACE

1. LUTTE CONTRE LES MANGE-MIL

Cette lutte est coordonnée en Afrique de l'Ouest et au Tchad-Cameroun par l'OCLALAV.

DESTRUCTION DES NIDS

Par pulvérisation aérienne d'une solution huileuse de Parathion éthylé à 250 g de matière active par litre. Dose utilisée 18 litres/ha.

DESTRUCTION DES OISEAUX EN DORTOIRS EN SAISON SECHE

Par explosif : 50 à 120 charges de 2 kg par hectare sont placées dans les arbres pendant la journée et la mise à feu est faite après le coucher des oiseaux. Cette

méthode est de moins en moins utilisée, car le prix de revient par hectare est élevé. On n'emploie pratiquement plus les explosifs que sur les arbres servant de reposoir aux oiseaux pendant la journée en plaçant 1 ou 2 charges par arbres.

Par pulvérisation aériennes : d'une solution huileuse de Parathion éthylé à 250 g. de matière active/hl à la dose de 20 à 30 litres/ha. La pulvérisation est effectuée le soir après le coucher du soleil ou le matin de très bonne heure avant le lever du soleil.

2. LUTTE CONTRE LES PREDATEURS DE SEMENCES EN PLACE

Enrobage des semences avec les **répulsifs** :

— anthraquinone
— diphénylguanidine
— glucochoral : propriétés somnifères.

Le TMTD, employé comme désinfectant des semences, présente un effet répulsif pour les oiseaux et également pour les rongeurs, mais à des doses fortes.

Il existe de nombreux produits mixtes pour le traitement des semences comportant un répulsif (anthraquinone) + 1 fongicide + parfois un insecticide.

Anthraquinone + captane
Anthraquinone + HCB
Anthraquinone + Lindane + Mancopper, etc.

VIII

LUTTE CONTRE LES RONGEURS

Par utilisation d'appâts empoisonnés. Un appât empoisonné comprend :

— **l'appât** proprement dit, aliment préféré du rat
— le toxique d'ingestion à une concentration donnée

et éventuellement :

— **les adjuvants** : masques faisant disparaître le goût du toxique (sucre-sirop)
— **les appétents** destinés à augmenter la consommation de l'appât (huile de paraffine)
— **les colorants** de dénaturation de l'appât.

Modalités pratiques :

1) Ne rien changer à la disposition des lieux traités.
2) Appâter d'abord avec des doses croissantes d'appât non empoisonné placées sur le passage des rongeurs, sous des abris.
3) Remplacer ensuite ces aliments par des doses identiques d'appât empoisonné.
4) Prendre toutes précautions utiles pour éviter que les animaux atteints ou les cadavres ne soient ramassés en vue de la consommation.

Moyens préventifs :

— Supprimer les amas de matériaux et détritus pouvant servir d'abri aux rats.
— Mettre autant que possible les stocks hors d'atteinte des rongeurs.

Dosages : voir page suivante.

PNCIPAUX RODENTICIDES

Matière active	Toxicité	Mode d'action	Mode d'utilisation	Destruction de	Doses dans les appâts
chlorophacinone	« Poison » ou « dangereux » suivant concentration : ≥ 1 %	Anticoagulant	Appâts ou toxiques de piste	Surmulot - souris domestiques - rat musqué Mulot et campagnol	0,005 % 60 cc produit commercial à 0,25 % 0,0075 %
coumachlore	« Poison » ou « dangereux » suivant concentration : ≥ 1 %	Anticoagulant	Appâts empoisonnés ou toxiques de piste	Surmulot - rat noir - souris domestique	0,025 %
coumafère (warfarine)	Suivant concentration : ≥ 1 %	Anticoagulant	Appâts empoisonnés ou toxiques de piste	Surmulot - rat noir - souris domestique	0,025 %
brodifacoum	Poison	Antocoagulant	Appâts	rat	
coumate tralyl	Dangereux	Anticoagulant	Appâts	rat noir - surmulot - souris	0,0375 %

IX

PRESERVATION DES DENRÉES STOCKÉES

Les denrées stockées peuvent être dépréciées par des champignons et des bactéries qui se développent à la faveur de l'humidité. Elles sont également l'objet de dégradations causées par des insectes et acariens, souvent de petite taille.

Principaux insectes rencontrés dans les hangars de stockage :

Espèces d'insectes		Denrées attaquées
Nom commun	Nom scientifique	
charançon	Sitophilus spp.	Maïs, sorgho, blé, riz, paddy
bostryche ou capucin des grains	Rhizopertha dominica F.	Paddy, riz, blé, maïs, manioc.
trogoderme des grains	Trogoderma granarium everts	Maïs, blé, sorgho, riz, légumineuses, oléagineux, tourteaux.
silvain	Oryzaephilus spp.	Maïs, blé, riz, oléagineux, fruits séchés.
ver de farine	Tribolium spp.	Maïs, blé, farine, arachides, farines de céréales, fruits séchés, cacao, tourteaux et farines pour l'alimentation du bétail.
bruche des haricots	Callosobruchus spp. Acanthoscelides obtectus Say Zabrotes Subfasciatus Boh. Caryedon serratus Ol.	Doliques, faséoles } Haricots Arachides
dermeste	Dermestes spp.	Poisson séché
lasioderme du tabac	Lasioderma serricorne F.	Cacao, manioc, tabac
coléoptère plat	Cryptolestes spp. Laemophlœus pusillus Schönherr	Maïs, riz, arachides, cacao, farine.
alucite des grains	Sitotroga cerealella Ol.	Maïs, blé, paddy, sorgho.
teigne du cacao	Ephestia cautella Walk.	Arachides, riz, maïs, blé, cacao, sorgho, dattes.
piodia	Piodia Interpunctella Hubn.	Maïs, arachides, fruits séchés (dattes).
teigne du riz	Corcyra cephalonica Staint	Maïs, blé, riz, sorgho, arachides.
grand capucin du maïs	Prostephanus tumcatus	Maïs, manioc séché, denrées alimentaires diverses, bois.

Les conditions de développement optimales varient avec les espèces : toutefois, on doit noter qu'une température de 26°-27° et un état hygrométrique de 75 % constituent en général les conditions les plus favorables au développement des parasites des stocks. Au-dessous de 7 %-5 % d'humidité, les insectes sont inactifs, et en milieu dépourvu d'oxygène ils meurent (larves et imago).

SOINS PRÉVENTIFS CONTRE LES INFESTATIONS :

— Désinfecter avant stockage les récipients (sacs) et les locaux de stockage.
— N'entreposer que des **denrées bien sèches**.
— Incorporer aux denrées, préalablement au stockage, un insecticide, admis par la législation en vigueur s'il s'agit de produits de consommation.

TRAITEMENT PRÉVENTIFS DE LA SACHERIE ET DES DENRÉES :

— Trempage des sacs vides dans des solutions de 1 % de Lindane, ou de Malathion.
— Pulvérisation des sacs après remplissage aux doses suivantes :

lindane	0,1 g de m.a. au m^2
malathion	0,5 g de m.a. au m^2
pyréthrines	0,1 g de m.a. au m^2

Le poudrage des denrées de consommation ne peut pas être réalisé avec tous les insecticides (cf. tableau de toxicité). En France, seuls Lindane et Malathion sont autorisés aux doses suivantes (maxima) :

lindane	0,5 g de matière active par quintal
malathion	0,8 g de matière active par quintal
pyréthrines	de 0,1 à 0,5 g de matière active par quintal

Noter que certains parasites résistent à ces produits : le trogoderme au stade larvaire est résistant aux insecticides de contact. Contre ces parasites, seules les fumigations sont efficaces en atmosphères confinée.

LUTTE CONTRE L'INFESTATION EN COURS DE STOCKAGE :

Deux techniques sont possibles :

— Mélange d'un insecticide par poudrage (organophosporé ou pyréthrinoïde) :
  • par pulvérisation,
  • par nébulisation.
— Fumigation par gaz toxique :
  • soit à la pression atmosphérique (sous bâche ou en silo étanche).
  • soit avec emploi du vide (en autoclave).

Ces procédés demandent des appareillages et du personnel spécialisés.

Il faut traiter dès l'apparition des premiers symptômes car l'infestation des stocks se développe en général très rapidement (ex. des charaçons dont le nombre peut doubler en 7 jours).

X

TOXICITÉ

Les produits phytosanitaires employés dans la défense des cultures **présentent pour l'homme et les vertébrés supérieurs un caractère de toxicité plus ou moins grave et plus ou moins marqué, pouvant d'ailleurs n'apparaître qu'à la longue et par un phénomène d'accumulation dans l'organisme.**

Les substances vénéneuses sont classées en trois tableaux (Législation française)

Tableau A : substances les plus toxiques, interdites en agriculture sauf dérogations fixées par arrêté (les emballages de spécialités classées dans ce tableau portent une bande rouge sur laquelle est imprimé en noir le mot « poison »).

Tableau B : n'est pas relatif aux produits pesticides.

Tableau C : produits librement fournis à l'agriculture (les emballages portent une bande verte et le mot « dangereux »).

L'O.M.S. donne la classification suivante (valeurs des DL 50 aigües des produits formulés) :

Classification et mention correspondante	DL 50 aigüe mg/kg de poids corporel (rat)			
	Orale		Dermique	
	Solide	Liquide	Solide	Liquide
I a Extrèmement dangereux « très toxique »	5 ou moins	20 ou moins	10 ou moins	40 ou moins
I b Très dangereux « toxique »	5 -50	20 - 200	10 - 100	40 - 400
II Modérément dangereux « nocif »	50 - 500	200 - 2000	100 - 1000	400 - 4000
III Peu dangereux « attention »	Plus de 500	Plus de 2000	Plus de 1000	Plus de 4000

La toxicité des divers produits a été étudiée en laboratoire et chiffrée par les critères : DL 50 (ou dose létale 50) et It (indice de toxicité) :

— DL 50 : quantité de produit actif (en mg/kg de poids vif) qui détermine 50 % de mortalité dans la population étudiée ; en laboratoire, on expérimente sur rats albinos.

Les produits sont d'autant moins toxiques que la quantité équivalente à DL 50 augmente ; on peut les considérer comme peu toxiques au niveau DL > 500.

Une préparation est également plus ou moins toxique suivant sa concentration, son facteur toxicologique et le support qui a servi à la formulation ; à concentration égale (et sauf circonstances particulières), la toxicité en fonction des supports augmente dans le sens : poudre < poudre mouillable < solution émulsifiable < solution huileuse.

Les indications sur la toxicité des produits principaux figurent sur les tableaux généraux d'utilisation des produits, mais il sera toujours indispensable, en cas de doute, de consulter, soit le représentant de la marque, soit les services spécialisés.

PRÉCAUTIONS GÉNÉRALES D'EMPLOI :

Elles sont essentielles.

— Bien prendre connaissance du mode d'emploi.
— Porter des lunettes de protection et des vêtements spéciaux.
— Ne jamais porter à la bouche une buse ou un appareil ayant été utilisé.
— Ne pas fumer, manger ou boire durant les traitements.
— Se laver les mains et le visage après manipulation ou emploi.
— Ne jamais employer un produit si les délais entre le traitement et la date prévue de récolte sont inférieurs à ceux prescrits pour le produit considéré.
— Tenir grand compte du sens du vent lors des traitements avec U.L.V.
— Ne pas utiliser les enfants pour la réalisation des traitements U.L.V.
— Eviter de passer dans les zones traitées.

XI

TRAITEMENTS D'URGENCE DES INTOXICATIONS PAR LES PRODUITS CHIMIQUES A USAGE AGRICOLE

En cas d'accident, il convient d'appeler au plus tôt le médecin. Les indications ci-dessous ne sont valables qu'en cas d'urgence, et ne peuvent remplacer le diagnostic d'un spécialiste.

Les pharmacies des plantations isolées utilisant des produits toxiques devraient toutefois posséder les produits pharmaceutiques cités ci-dessous, achetés sur ordonnance et conservés dans les conditions indiquées par le fabricant (durée - température).

En présence d'une intoxication grave, il convient avant toute chose de pratiquer une réanimation cardiaque et respiratoire sous oxygène si possible.

1. MÉTHODE RECOMMANDÉE POUR UN LAVAGE D'ESTOMAC

Si le patient a un mauvais réflexe de toux, protéger les poumons et l'efficacité

du passage en plaçant un tube trachéique avant de mettre en place un tube stomacal. Chez les malades conscients ou même chez les malades inconscients, avec des réflexes intacts de toux et de renvois, on peut mettre en place seulement un tube stomacal d'un grand diamètre. Mettre le patient de telle façon que sa bouche soit plus basse que sa trachée. Enlever les dentiers éventuels et maintenir la bouche ouverte avec un ouvre-bouche. Lubrifier le tube avec de la glycérine ou un gel approprié, et l'introduire lentement par-dessus la langue dans l'œsophage, à une profondeur d'environ 50 cm chez un adulte. Aspirer le contenu de l'estomac en utilisant une pompe mécanique douce, s'il y en a à disposition ; si un moyen de pompage continu n'est pas disponible, une grande seringue reliée à un adaptateur sera utile. Si l'on n'obtient rien, ou peu de choses, il est probable que le tube ne soit pas correctement placé. Le positionnement adéquat du tube peut être vérifié en envoyant un peu d'air, et en auscultant le malade avec un stéthoscope au niveau de l'estomac, pour déceler des gargouillements.

Après avoir fait un effort convenable pour éliminer le contenu de l'estomac et s'être assuré que l'extrémité du tube est dans l'estomac, attacher à l'extrémité orale du tube un grand évacuateur ou entonnoir. Ajouter de l'eau (ou du sérum physiologique), chauffée à une température voisine de celle du corps (300 ml pour un adulte, moins pour un enfant). Si l'on utilise un entonnoir, élever l'extrémité orale du tube et faire pénétrer l'eau dans l'estomac par gravité. Pour cela, il peut être nécessaire d'utiliser un adaptateur et d'ajouter un longueur de tuyau entre l'entonnoir et le tube stomacal, ce qui augmente la longueur totale et rend plus facile le réglage de la colonne d'eau.

Après que toute l'eau est passée dans l'estomac, placer le tube plus bas dans une cuvette ou un bocal et siphonner le contenu stomacal. Ne pas utiliser plus de 300 ml pour chaque lavage parce qu'un volume plus important pourrait avoir tendance à entraîner le contenu de l'estomac dans le duodénum. Renouveler le lavage jusqu'à ce que le liquide de retour soit limpide.

Le tube utilisé pour vider l'estomac doit avoir un bout arrondi et rigide, pour faciliter son passage dans l'œsophage. Il doit avoir au moins une grande ouverture sur le côté, juste en arrière du bout et il est encore mieux qu'il y ait plusieurs grands trous, espacés à l'arrière de l'extrémité. La paroi extérieure doit être lisse. Les tubes d'évacuation stomacale communément vendus pour utilisation chez les enfants ont un diamètre extérieur de 7,33 mm (n° 22, selon l'échelle Charrière) ; ceux pour adultes mesurent 10 mm (n° 30, selon l'échelle Charrière).

2. TRAITEMENTS RECOMMANDÉS

INSECTICIDES ORGANOPHOSPHORÉS : (ex. : parathion, malathion, dichlorvos)

Utilisation : insecticides

Indices et symptômes d'empoisonnement : épuisement, faiblesse, confusion, vomissements, douleurs abdominales (crampes), sueurs froides, salivation, poitrine oppressée, contractures musculaires des paupières et de la langue, suivies par une contracture plus importante des muscles, faiblesse

musculaire, diarrhée, hypersécrétion bronchique, bronchospasme, bradycardie, pupille rétrécie.

Dans les cas graves : convulsions, cyanose, transpiration excessive, incontinence, divagation mentale, défaillance cardiaque et respiratoire, coma.

Traitement spécifique : les composés organophosphorés sont des inhibiteurs de cholinesterases et le traitement doit se faire rapidement. Maintenir le malade strictement au repos !

1) Maintenir les fonctions respiratoires et cardiaques. Donner de l'oxygène, si nécessaire.
2) Donner immédiatement du sulfate d'atropine par voie intraveineuse à la dose de 2/4 mg (deux à quatre milligrammes) pour un adulte, et répéter l'injection à intervalles de 5/10 minutes, jusqu'à ce que les signes d'atropinisation apparaissent (par exemple, bouche sèche, tachycardie et normalement pupilles dilatées). Maintenir l'atropinisation pendant au moins 24/48 heures et surveiller soigneusement le malade quand le médicament est arrêté : il peut être nécessaire de recommencer le traitement en cas de réapparition des symptômes d'empoisonnement.
3) Si l'empoisonnement par organophosphorés est découvert dans les 12 heures, donner lentement 1 g d'une préparation d'oxime (par exemple, pralidoximechloride) par voie veineuse. Ce médicament NE DOIT PAS être utilisé en alternance ou en remplacement de l'atropine, l'emploi de celle-ci est ESSENTIEL.
4) Une surveillance des progrès du malade est impérative. Le traitement médicamenteux peut être nécessaire pendant une durée allant jusqu'à 10 jours, dans les cas graves.
5) L'anxiété peut être combattue par administration, par voie intramusculaire, de 5 à 10 mg de diazepam.

CARBAMATES :
(ex. : aldicarbe, carbaryl, propoxur)

Utilisation : insecticides

Indices et symptômes d'empoisonnement : les mêmes que ceux observés dans le cas d'un empoisonnement par organophosphorés, cependant, les manifestations tendent à être plus rapides et d'une durée plus courte.

Traitement : la thérapie par l'atropine, décrite pour les composés organophosphorés, est nécessaire.

N.B. : LES OXIMES SONT CONTRE-INDIQUÉES DANS LE CAS D'UN EMPOISONNEMENT PAR UN CARBAMATE.

DITHIOCARBAMATES
(groupe n'inhibant pas les cholinesterases)
(par ex. : manèbe, mancozèbe)

Utilisation : fongicides et insecticides

Indices et symptômes d'empoisonnement : cette famille de produits est généralement peu toxique, mais en exposition à ceux-ci, suivie de l'absorption

d'alcool, peut produire : des migraines, des palpitations, des nausées, des vomissements et des rougeurs sur le visage.

Traitements : il n'existe pas de traitement spécifique, il est seulement possible d'appliquer une thérapie symptomatique.

COMPOSÉ ORGANOCHLORÉS :
(ex : DDT, dieltrine, lindane)

Utilisation : insecticides.

Indices et symptômes d'empoisonnement : manque de coordination, tremblements, convulsions (N.B. l'empoisonnement avec certains composés peut, au départ, ne produire que peu de symptômes et une attaque peut être le premier signe).

Traitements spécifiques : l'action des composés organochlorés sur le système nerveux central est d'une suprême importance dans le cas d'un empoisonnement grave.

1) Administrer du phenobarbitone (100 mg) ou du diazepam (10 mg) par voie intramusculaire, ou lentement, par voie intraveineuse, pour combattre les convulsions. Il peut être nécessaire de poursuivre le traitement jusqu'à 2 semaines après l'empoisonnement.
2) Administrer 10 mg de diazepam par voie intramusculaire ou lentement, par voie intraveineuse, pour des convulsions persistantes.

COMPOSÉS PYRÉTRINOÏDES :
(ex. : cypermethrine, deltamethrine, fenvalerate)

Utilisation : insecticides

Indices et symptômes d'empoisonnement : irritation des muqueuses bucco-nasales, salivation, crises de convulsions. Quelques pyréthrinoïdes peuvent provoquer des sensations faciales locales qui ne sont pas liées à un empoisonnement systémique. Les effets sont réversibles et ne nécessitant pas un traitement spécifique.

Traitement spécifique :

1) Administration de charbon actif ;
2) Lutte contre les crises avec injection d'amobarbital ou de diazepam.

Contre-indication : CNS Stimulants

COMPOSÉS DINITROPHENOLIQUES :
(ex. : DNOC (dinitro-cresol), binapacryl, dinosèbe

Utilisation : fongicides, herbicides et insecticides

Indices et symptômes d'empoisonnement : tremblement, augmentation du rythme respiratoire, transpiration, léthargie et insomnie, nausée, nervosité, soif, augmentation de la température du corps, tachycardie, fatigue (une coloration jaune de la peau, avec des plaques blanches, peut être l'indice d'une exposition à certains dinitrophenols).

Traitement spécifique : les dinitrophenols affectent la phosophorilation oxydative et un empoisonnement se traduira par une augmentation brusque du métabolisme.

1) Un vidage approprié de l'estomac et l'emploi de charbon actif sont importants.
2) Refroidir efficacement le corps pour maintenir sa température aussi voisine que possible de la normale.
3) Administrer de l'oxygène.
4) Eviter l'alcool.
5) Assurer une absorption de liquide appropriée.

BIPYRIDYLS :
(ex. : paraquat, diquat)

Utilisation : herbicides

Indices et symptômes d'empoisonnement : rapidement (dans les heures qui suivent) : irritation de la bouche et de la gorge, avec nausées, vomissements, douleurs abdominales et diarrhées (souvent, avec du sang). Plus tard, (1 à 3 jours), légères perturbations des fonctions rénales et hépatiques.

Pour le diquat seulement : une diarrhée liquide, abondante, apparaît et peut entraîner un état de choc.

Pour les paraquat seulement : 5 à 14 jours après l'empoisonnement, une dyspnée progressive peut apparaître, aboutissant à la mort, suite à l'incapacité respiratoire.

Les cas graves d'empoisonnement avec les deux produits peuvent aboutir à un état de choc et à la mort dans les heures qui suivent l'ingestion.

Traitement :

1) Administrer un lavage d'estomac et laissant en place la sonde gastrique, ajouter 1 litre de suspension aqueuse à 15 p. cent de terre de Fuller, en même temps qu'un purgatif adéquat, par exemple mannitol (200 ml à 20 p. cent). renouveler l'administration de terre de Fuller et de purgatif jusqu'à ce que l'on trouve de la terre de Fuller dans les selles. Ceci intervient généralement 4 à 6 heures après le début du traitement. Alternatives à la terre de Fuller : bentonite et charbon actif.
2) Eviter l'apport d'oxygène dans les premières 48 heures.
3) Dans les cas de brûlures graves de la bouche et de la gorge, donner seulement des liquides par voie orale au malade.

Note : le test suivant est utile dans l'aide au diagnostic : à 20 ml d'urine du malade, ajouter de l'alcali (ex. : hydroxyde de sodium) jusqu'à ce que le pH soit supérieur à 9. Puis ajouter une spatule pleine de dithionite de sodium. S'il y a du paraquat dans l'urine, la couleur devient bleue, s'il y a du diquat, elle devient verte.

ANTICOAGULANTS :
(ex. : warfarin, bromadiolone, difenacoum, cholophacinone)

Utilisations : rotenticides

Indices et symptômes d'empoisonnement : nausée, vomissement, diar-

rhée suite à l'ingestion, saignement du nez et des gencives, sang dans les excrétions, hémorragie interne pouvant conduire au choc et au coma.

Traitements spécifiques : les anticoagulants agissent en inhibant la coagulation du sang. Maintenir le patient strictement au repos.

1) Eliminer le produit par vomissement ou lavage gastrique.
2) Pour rétablir la coagulation du sang, donner 10 à 20 mg de vitamine K_1, par voie orale, intramusculaire ou intraveineuse, selon la gravité du cas. Ne pas dépasser 40 mg/jour.
3) Poursuivre le traitement jusqu'à ce que le temps de coagulation soit normal, ce qui peut prendre plusieurs semaines.
4) Dans les cas graves, procéder à une transfusion sanguine et ajouter du plasma réfrigéré, si l'on en a à disposition.

Le traitement est nécessaire même en l'absence de symptômes, à cause de l'augmentation de la tendance au saignement.

XII

LÉGISLATION PHYTOSANITAIRE

La législation phytosanitaire a pour but d'empêcher l'introduction d'organismes nuisible aux végétaux et produits végétaux (insectes, acariens, nématodes, bactéries, champignons pathogènes, virus) dans un pays ou un groupe de pays.

Les mesures réglementaires qu'elle institue portent sur les conditions d'admission, sur le territoire, des plantes vivantes et des supports divers (terre, composts) susceptibles de véhiculer des organismes nuisibles aux cultures.

Les principales restrictions et conditions d'admission instituées par les réglements phytosanitaires sont :

— 1) **La prohibition** (interdiction complète d'importer) ; c'est la mesure la plus sévère.
— 2) **Le permis d'importation**. Le régime du permis préalable d'importation s'applique généralement à un nombre limité de plantes pour lesquelles il convient d'adresser, préalablement à l'importation, une demande d'autorisation au Service local de la protection des végétaux.
— 3) **Le certificat phytosanitaire**. C'est une pièce établie par le service responsable du pays d'origine précisant que la matière qui en fait l'objet est dans un état sanitaire satisfaisant. Il peut être, dans certains cas, remplacé par un simple certificat d'origine.
— 4) **L'inspection à l'arrivée**, en vue de contrôler les déclarations, les certificats délivrés, et également l'état du produit lui-même.
— 5) **La désinfection**. Cette opération est parfois effectuée avant l'embarquement de la marchandise. Elle peut aussi avoir lieu après inspection au débarquement.

— 6) **La quarantaine**. Lorsque les précautions ci-dessus sont jugées insuffisantes contre le risque d'introduction d'une maladie nouvelle, on peut recourir à la culture en quarantaine qui doit se faire dans une station homologuée présentant des garanties suffisantes.

La convention internationale pour la protection des végétaux (signée à Rome en 1951) stipule que : les Etats contractants, en vue d'assurer une action commune et efficace dans la lutte contre l'introduction et la propagation des maladies et ennemis des végétaux et produits végétaux, s'engagent à mettre en place :

a) Une organisation officielle de la Protection des végétaux chargée :
– de l'inspection des végétaux sur pied et des végétaux et produits végétaux emmagasinés ou en cours de transport ;
– de l'inspection des envois de végétaux et produits végétaux faisant l'objet d'échanges internationaux ;
– de la désinfectation et de la désinfection des envois de végétaux et de produits végétaux faisant l'objet d'échanges internationaux ;
– de la délivrance des certificats phytosanitaires.

b) La diffusion sur le plan national de renseignements sur les maladies et ennemis des végétaux et les moyens de préventions et de lutte.

c) La recherche et l'enquête dans le domaine de la protection des végétaux.

La collaboration internationale s'exerce en utilisant les organisations existantes, notamment le Service Mondial de renseignements sur les maladies et ennemis des végétaux (FAO) et par le truchement des Organisations Régionales pour la Protection des Végétaux qui assurent un rôle coordinateur dans les groupes de pays de compétence.

CHAPITRE IX

PRODUCTION DE MATÉRIEL VÉGÉTAL

La décision de produire un matériel végétal doit prendre en considération tant les facteurs agronomiques qu'économiques.

En tout état de cause il s'agira en priorité de consulter les organismes spécialisés chargés de l'amélioration et de la sélection des plantes. En particulier **l'introduction de matériel végétal doit être le fait du spécialiste afin d'éviter les introductions accidentelles de parasites ou maladies.**

Il ne s'agira pas, pour l'agronome de terrain, d'entreprendre une sélection autre que massale. En effet les délais nécessaires à l'obtention d'une nouvelle variété ou d'un hybride sont longs (de 5 à 10 ans). De plus, il est nécessaire pour entreprendre un tel travail d'intégrer une multitude de facteurs (adaptation écologique, rendements, résistance aux maladies, qualités organoleptiques, qualités technologiques...) et d'avoir une parfaite maîtrise des moyens d'actions que l'on peut mettre en œuvre (hybridation, mutation, polyploïdisation, ...).

Le spécialiste au sein d'un organisme capable de lui fournir toute la logistique et l'intendance nécessaires est de loin le plus apte à conduire à bien une telle entreprise.

La production d'un matériel végétal sous-entend :

— dans une première phase : choisir et se procurer le matériel sélectionné auprès des organismes (boutures, semences, etc.).

— dans une deuxième phase : envisager de propager à titre individuel certains matériels (objet de ce chapitre) :

- soit par voie végétative à partir des clones sélectionnés;
- soit par voie de semences pour les variétés fixées par autofécondation (ce qui exclut les hybrides) en opérant une sélection massale au sein des champs semenciers.

Le tableau ci-après donne la liste des principales productions végétales traitées dans le chapitre des « cultures spéciales » où l'on s'est attaché à indiquer le mode de multiplication le plus représenté dans la pratique courante.

Tableau des modes de multiplication et des types de reproduction par voie sexuée des principales espèces étudiées dans le chapitre Cultures spéciales.

Espèces	Mode de reproduction végétative	Mode de reproduction sexuée naturel			
		Autogamie ♂ ♀	Allogamie		
			♂ ♀	monoïque	dioïque
Agrumes	o greffage			x	
Aleurites	(o) greffage			o	
Anacardier			o		
Ananas	o cayeux		x		
Arachide		o			
Avocatier	o greffage		(o)		
Bananier	o rejet			x	
Cacaoyer	o bouturage		(o)		
Café	(o) Bouturage-greffage		o		
Canne à sucre	o bouturage		x		
Carthame			o		
Cocotier				o	
Colatier	(o) marcottage et bouturage		o		
Cotonnier		o			
Cultures légumières	tous les modes de reproduction sont représentés				
Dah ou kénaf			o		
Dattier	o rejet des pieds ♀				(o)
Giroflier		o			
Goyavier	(o) greffage et marcottage	o			
Hévéa	o greffage			o	
Igname	o tubercules			x	
Jute			o		
Kapokier			o		
Karité			o		
Litchi	o marcottage et greffage		x		
Maïs				o	
Manguier	o greffage		o		
Manioc	o bouturage		x		
Mils			o		
Niebé		o			
Palmier à huile				o	
Papayer				(o)	o
Patate douce	o bouturage et (o) tubercule		x		

Pois du Cap		o			
Poivrier	o bouturage			x	
Pomme de terre	o tubercule	x			
Pyrèthre		o			
Quinquina	o greffage		o		
Ramie	o bouturage			(o)	
Ricin				o	
Riz		o			
Roselle		o			
Sésame		o			
Sisal	o bulbilles et rejets		x		
Soja		o			
Sorgho		o			
Tabac		o			
Thé	o bouturage		o		
Tournesol		o			
Taros	o tubercules et bouturage			x	
Urena ou paka		o			
Vanillier	o bouturage		x		
Voandzou		o			
Ylang-ylang			o		

Par ailleurs le chapitre « cultures spéciales » apporte au lecteur les détails spécifiques en complément des techniques générales de multiplication décrites dans ce chapitre :

— liste variétale indicative;

— généralités (biologie, écologie...);

— techniques culturales (modes et époques de production, fertilisation, irrigation, défenses des cultures).

— économie des produits.

N.B. : explication des symboles utilisés dans le tableau.

o Mode de multiplication le plus fréquent.

(o) Mode de multiplication moins usuel.

x Mode de reproduction sexuée naturel.

♂ = fleur hermaphrodite.

I

PRODUCTION D'UN MATERIEL VEGETAL PAR LA VOIE ASEXUEE
(ou par voie végétative*)

1. PRINCIPES DE SELECTION (rappels succincts)

— Prospection botanique et analyse tant des caractères généraux (écologie, morphologie, biologie, physiologie ...) que des caractères plus spécifiques tels que les teneurs en protéines des organes destinés à la consommation;
— Introduction avec mise en quarantaine dans un but de prophylaxie. Sa durée doit être suffisamment longue afin de permettre le repérage éventuel du parasitisme par des méthodes de laboratoire;
— Constitution des collections afin :
  - d'observer le comportement local du matériel « sain » introduit,
  - de comparer les introductions avec un matériel local déjà éprouvé,
  - d'opérer une sélection sanitaire parmi les introductions vis-à-vis du parasitisme local.
— Choix des « pieds-mères » au sein des collections testées;
— Constitution de clones à partir de la descendance asexuée des « pieds-mères » retenus.

On procède par la suite à la constitution de sous-clones pour tester l'homogénéité des descendances successives.

N.B. : la sélection sanitaire intervient à chaque étape de la sélection.

2. METHODES DE MULTIPLICATION ASEXUEE

Soit à partir d'organes qui, naturellement, assurent la propagation de l'espèce (drageons, rejets, tubercules, rhizomes, bulbilles, cayeux).
Soit artificiellement à partir de fraction d'organe capable de régénérer une plante entière (bouturage, marcottage...) ou par association forcée de deux plantes (greffage).

2.1. Bouturage.

C'est une opération qui consiste à reproduire une plante identique au pied-mère à partir d'un fragment de celui-ci. On peut distinguer :
— les boutures de racines;
— les boutures de feuilles;

(*) Pour la production asexuée par graines apomictiques voir Panicum maximum ch. XIII, 2e partie : IV Cultures fourragères.

— les boutures de rameaux plus ou moins lignifiés qui sont les plus couramment utilisées :
  - bouture simple (cf. figure 1),
  - bouture à talon obtenue par éclatage et possédant l'empattement du rameau (cf. figure 2),
  - bouture à crossette qui possède 2 à 3 centimètres de la branche dont est issue la bouture (cf. figure 3).

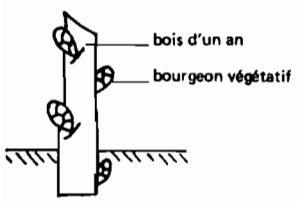


Figure 1
bouture simple

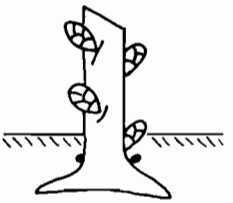


Figure 2
bouture à talon

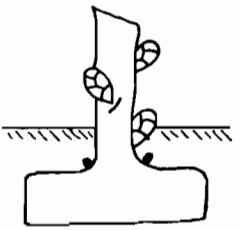


Figure 3
bouture à crossette

2.1.1. TECHNIQUE DE PREPARATION DES BOUTURES

— Prélèvement : la position des rameaux est importante (conditionne le port, la vigueur, la précocité des plantes) :
  - bois orthotrope : dont la croissance est verticale (ex. : kapokier, poivrier, caféier),
  - bois plagiotrope : dont la croissance d'origine sur le pied-mère est oblique (ex. : cacaoyer);
— Section à proximité d'un nœud (lieu d'insertion des bourgeons). Pour le théier on prendra un entre nœud de rameau vert avec sa feuille;
— Habillage : suppression ou réduction de la surface évaporante de certains organes (feuilles);
— Soins sanitaires : outils propres (serpettes, sécateurs ...), coupes franches, traitements phytosanitaires (trempage des plaies);
— Hormonage du nœud où doivent se développer les racines (dans certains cas).

2.1.2. SOINS AUX BOUTURES

— Protection phytosanitaire;
— Réduction des pertes en eau jusqu'à émissions d'un chevelu racinaire fonctionnel :
  - arrosages fréquents,
  - ombrage des pépinières,
  - couverture antitranspirante (cloche en verre, pépinière sous plastique, pulvérisation de produits antitranspirants).

2.1.3. AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Cette technique permet de reproduire de façon quasi-certaine une plante identique à elle-même (même génotype et même phénotype).

Toutefois, c'est une technique lourde (constitution de parc à bois pour prélèvement de boutures, création de pépinière ...) onéreuse et aussi plus longue pour satisfaire des besoins importants (liée au taux de multiplication qui est lui-même fonction du type de bouture utilisé). Ce sont les boutures simples qui offrent le taux de multiplication le plus important.

Dans les cas difficiles on peut substituer aux techniques employant des boutures du type « à talon » qui ont un taux de multiplication encore plus faible, la technique de l'hormonage associée à l'emploi de bouture simple.

2.2. Marcottage.

C'est un substitut du bouturage dans les cas difficiles.
On procède :

— par un couchage pour des plantes à rameaux longs et flexibles

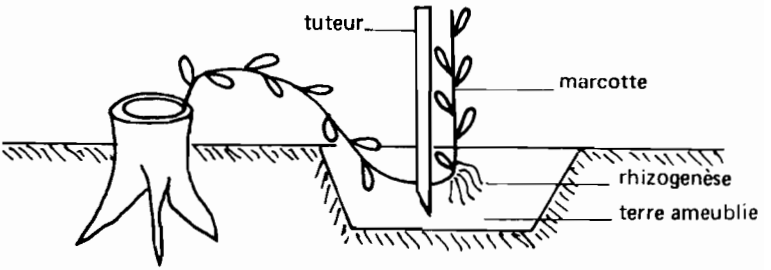


Figure 4 marcottage par couchage

— par buttage pour des plantes à rameaux courts et rigides. Ex. : goyavier;

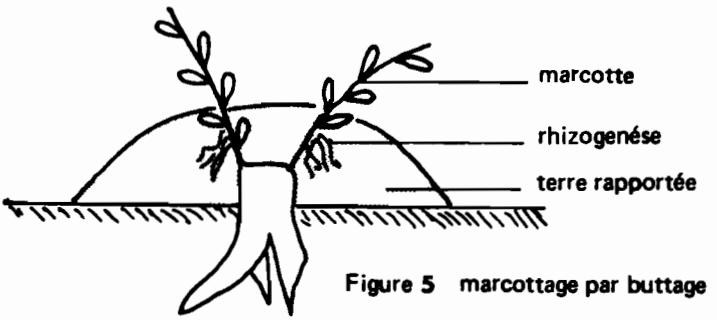


Figure 5 marcottage par buttage

— par fixation aérienne en pot ou en sac plastique d'un milieu d'enracinement pour des plantes à rameaux longs et rigides ex. : litchis;

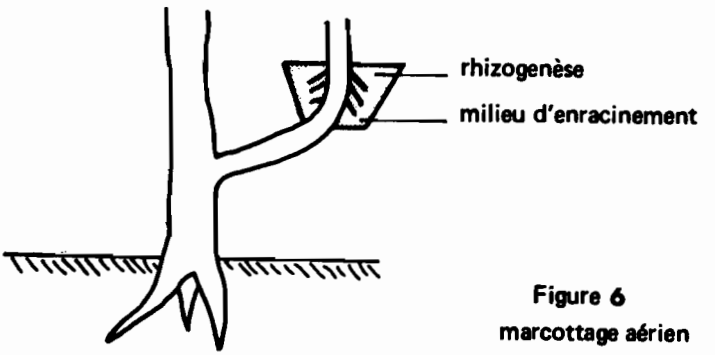


Figure 6
marcottage aérien

2.3. Greffage.

Il consiste à fabriquer des « individus composites » avec des parties présentant chacune des aptitudes particulières.

— l'une est appelée porte-greffe ou sujet - elle assure les échanges de l'ensemble avec le sol;
— l'autre est appelée greffon - elle assurera après reprise les échanges de l'ensemble avec l'atmosphère.

Cette technique réclame :

— une exécution minutieuse (outils bien affûtés tels que greffoir).
— une époque favorable et un état végétatif convenable (en général on opère en phase de repos végétatif);
— des soins avertis pour assurer la vie du greffon avant soudure;
— une étude de compatibilité entre sujet et greffon.

2.3.1. EXECUTION DU GREFFAGE

— Structure d'une tige (schéma général de l'organisation de la croissance en épaisseur d'une dicotylédone ligneuse) cf. fig. 7.

2.3.1.1. *Préparation du porte-greffe :* consiste à faire affleurer le cambium :

- en ligne droite (greffe en fente) cf. figure 8,
- en ligne courbe (greffe en apposition ou à l'anglaise) cf. figure 9,
- en plages plus ou moins convexes (greffe en écusson) cf. figure 10.

La forme donnée aux plaies d'ététage doit éviter la stagnation des eaux (pourritures d'origines diverses). Elle dépend du diamètre des tiges. Par ordre croissant de diamètre on a des plaies :

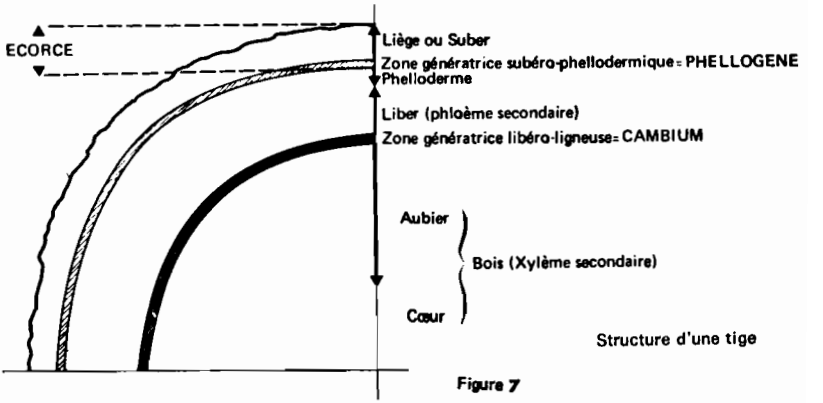


Figure 7

— en bec de sifflet par une coupe inclinée;
— en toit double pente;
— en calotte sphérique pour les tiges de plus grand diamètre.

L'âge du porte-greffe est en général indifférent pour la réussite de l'opération (cas des plantes lignifiées).

Pour les plantes herbacées (ex. solanacées) porte-greffe et greffon seront sensiblement de même âge et grosseur.

2.3.1.2. *Préparation du greffon :* consiste à faire affleurer de la même façon le cambium (cf. figures 8, 9, et 10).

Le greffon devra être prélevé « jeune » (bois de l'année ou bois d'un an).

2.3.1.3. *Réalisation de l'assemblage.*

Il devra être précis et en particulier assurer le plus grand contact possible entre les cambiums.

Il faudra maintenir un contact étroit entre le sujet et le greffon tant que la soudure n'est pas assurée (ligaturage, clouage, ...).

Il faudra panser les plaies de greffage pour les isoler de l'extérieur (protection sanitaire) et les protéger contre le dessèchement en ayant au préalable désinfecté les plaies proprement dites. On emploie des mastics à greffer.

2.3.2. LES DIFFERENTS MODES DE GREFFAGE

2.3.2.1. *Greffe de rameau détaché.*

— Greffes terminales (en fente, en couronne, à l'anglaise) ex. : manguier;
— Greffes latérales (placage sous écorce, fente latérale) ex. : goyavier.

2.3.2.2. *Greffe d'yeux (bourgeons végétatifs) ou greffe en* écusson ex. : agrumes.

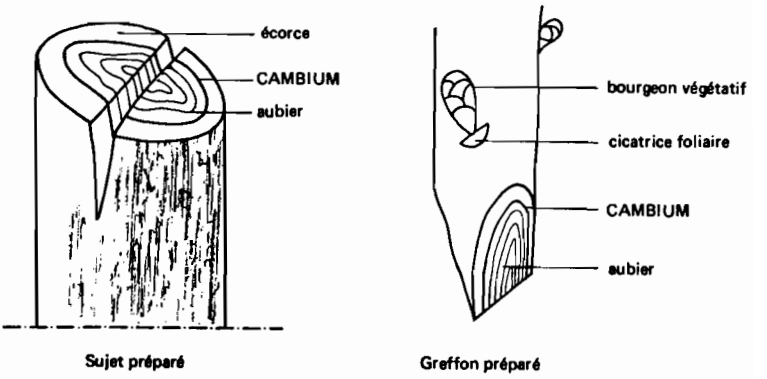


Figure 8 greffe en fente

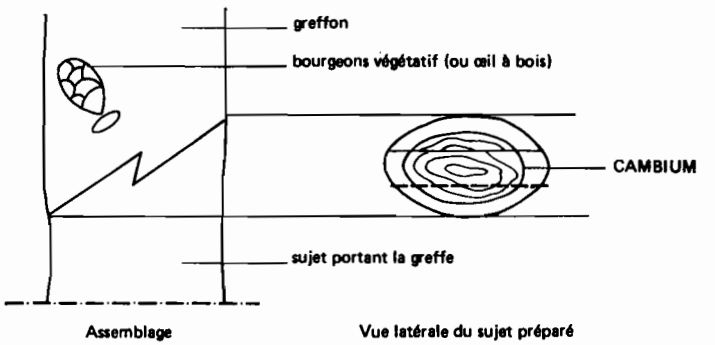


Figure 9 greffe à l'anglaise



Figure 10 greffe en écusson

2.3.2.3. *Greffe par approche.*

Le greffon n'est séparé qu'après soudure avec le sujet.

2.3.3. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU GREFFAGE

2.3.3.1. *Avantages.*

Permet d'exploiter toute une gamme de sol par l'intermédiaire des différents porte-greffe possibles.

Permet de moduler la vigueur du greffon par l'intermédiaire du sujet.

Permet de multiplier un clône d'une variété fortement hétérozygote ou un mutant.

2.3.3.2. *Inconvénients.*

— Moindre longévité que les plantes issues de semis;
— Technique délicate (respecter le positionnement des cambiums);
— Problèmes de compatibilité entre sujet et greffon.

2.3.3.3. *Choix du mode de greffage.*

Cette technique lourde à conduire (constitution de réserves à greffon, d'élevage des porte-greffe, de pépinières de reprise ...) se justifie essentiellement pour des raisons agronomiques liées aux propriétés intrinsèques du porte-greffe : adaptation au pH du sol, résistance à certain parasitisme du sol dont l'exemple type est fourni par la culture de la vigne en France (phylloxera).

Le choix proprement dit de tel ou tel mode de greffage est lié à :

- la dimension des **organes** à greffer : facilité de prélèvement en relation avec la qualification du personnel. La greffe en fente est de ce point de vue la plus aisée à mettre en œuvre;
- **taux de multiplication :** greffe d'yeux assure le meilleur taux de multiplication;
- une certaine **pratique coutumière :** en gardant à l'esprit la notion de « surface maximum de contact » entre les cambiums du porte-greffe et du sujet.

2.4. Division des touffes ou des souches.

Après avoir sorti la plante de terre on procède à son éclatage en fragments racinés avant de planter. Cette technique s'apparente au mode de propagation par drageonnage.

2.5. Utilisation d'organes spécialisés.

Multiplication végétative par rhizomes (tiges souterraines, vivaces, plus ou moins ramifiées). ex. ramie.

Multiplication végétative par tubercules, organes de réserves développés à partir :

— de tiges = tubercules caulinaires (ex : la pomme de terre);

— de racines = tubercules radiculaires (ex.: la patate douce dans certains cas).

Multiplication végétative par bulbes, bulbilles, cayeux = organes de réserves développés à partir de l'hypertrophie des feuilles insérées sur une tige courte (plateau) ex.: ananas.

Drageonnage: les rejets ou drageons se développent à partir des racines du pied-mère dont on peut les séparer (ex.: dattier).

II

PRODUCTION D'UN MATERIEL VEGETAL PAR LA VOIE SEXUEE

1. PRINCIPES DE SELECTION.

1.1. Sélection créative.

— Prospection;
— Introduction (mise en quarantaine);
— Constitution de collections (banque de gènes)
  - études des caractères,
  - études des rendements,
  - sélection sanitaire.

} cf. principes de sélection par voie asexuée

— Les moyens mis en œuvre sont multiples. Ils tendent vers une simplification théorique (culture cellulaire, intervention directe au niveau du noyau cellulaire ...), si ce n'est vers une simplification pratique au niveau des techniques employées (centrifugation, culture sur milieu stérile ...). Parmi les plus classiques la sélection fait intervenir le plus fréquemment :
  - l'hybridation à tous les niveaux: simple avec deux parents compatibles, double qui est un artifice permettant de combiner deux génotypes incompatibles à l'aide de deux autres génotypes. Cette technique est de loin la plus utilisée pour la fabrication de variétés dans lesquelles on veut introduire le caractère résistance à une maladie donnée et dont le génotype figure dans les collections. Après hybridation, pour introduire le caractère nouveau recherché dans le type variétal intéressant, on procède par back cross (croisement de l'hybride obtenu par la variété intéressante) pour reconstituer une variété nouvelle identique à la précédente (même génotype) à la seule différence près qu'elle possède le nouveau caractère à un état homozygote. Cette pratique permet de fixer l'hybride pour éviter la ségrégation dans sa descendance. On a alors créé un nouveau type cultivé stable: un cultivar. L'hybridation entre deux lignées autogames donnera une vigueur au produit supérieure à celles des parents, c'est la vigueur hybride ou

hétérosis employée pour la culture du maïs. Cette hybridation est destinée à l'exploitation immédiate du produit pour sa vigueur. Mais cet hybride n'est pas stable et sa vigueur diminuera rapidement si on ressème les semences qu'il produira. Il faut donc renouveler chaque année les hybrides de F1. Les F1 sont intéressantes également pour des cultures pérennes : palmier, café...

- mutations, naturelles ou provoquées (irradiation...),
- haploïdisations, le génome des plantes haploïdes est « homogène » par conséquent par polyploïdisation (diploïdisation par exemple) on obtient des plantes homozygotes strictes (techniques aléatoires faisant intervenir actuellement la colchicine et le protoxyde d'azote essentiellement). Ainsi pour fabriquer l'arabusta on a doublé le nombre chromosomique du café Canephora (diploïde) pour pouvoir le croiser avec l'arabica (tetraploïde).

— Examens du matériel obtenu :

- études des caractères (au champ et au laboratoire). L'analyse des caractères des génotypes étudiés est possible grâce au croisement avec le génotype récessif complet (test cross). Cette analyse permet d'associer les caractères phénotypiques d'une plante au génotype de celle-ci,
- études des rendements et essais comparatifs dans lesquels figurent les témoins locaux éprouvés,
- sélection sanitaire;

— Décision du sélectionneur :

- rejet,
- réservation - sélection conservatrice.

1.2. Sélection généalogique ou pedigree.

Pure ou avec une variante (cas des plantes autogames et des plantes allogames conduites en consanguinité ou donnant des embryons parthénogénétiques).

— Obtention des lignées :

- réalisation de l'homozygotie pour les caractères étudiés,
- sélection sanitaire. Elle se fait par des tests de résistance. Mais dans le cas de polyembryonie (agrumes) les embryons nucellaires conservent les caractères de la mère. Il n'y a plus de conséquence due à l'allogamie. En outre même si la mère est atteinte de virose les embryons restent indemnes.

— Choix dans les lignées :

- choix réservé à l'obtention de nouveaux porte-graines,
- choix réservé à la multiplication (champ semencier).

— Création de types complexes.

Sans attendre la création d'un type cultural nouveau stabilisé une formule consiste à mélanger les graines provenant d'origine bien définie et pure. On crée alors une population complexe à partir d'éléments choisis. C'est le Bulk pour le coton. C'est l'hybride

synthétique pour le maïs provenant d'au moins cinq lignées, autofécondées. C'est le composite du maïs provenant d'un mélange de lignées, d'hybrides, voire de populations. Ces populations complexes fournissent un matériel de base très diversifié au point de vue génétique mais parfois plus plastique.

1.3 Sélection massale

Rapide, elle permet d'épurer un matériel végétal connu, utilisée en multiplication des semences.

2. MÉTHODES DE MULTIPLICATION SEXUÉE

La multiplication par voie de semences est de loin la plus rapide sinon la plus aisée.

Toutefois cette reproduction n'offre pas les mêmes garanties que par la voie végétative. Ceci est lié à l'origine même de la graine qui résulte du brassage des génotypes parentaux. Par conséquent la garantie d'identité est liée au degré d'homozygotie du génotype de la graine comparé à ceux des parents.

Seule l'autofécondation de parents homozygotes ou leur hybridation permet d'assurer une reproduction parfaite.

2.1. Cas des plantes naturellement autogames

Ce mode de reproduction est lié à la morphologie et à la biologie florale (hermaphrodisme, simultanéité de maturation des organes reproducteurs, compatibilité) exemple : l'arachide.

Dans la mesure où il s'agit d'une plante homozygote (variété fixée) pour les caractères agronomiques et à l'exclusion des hybrides, les principes à respecter pour créer un champ semencier sont :

- — Isolement (proscrire les mélanges de variétés) ;
- — épuration (éliminer les plantes non conformes à la variété avant fécondation) sélection massale ;
- — état sanitaire (éliminer les pieds malades, traitements) ;
- — mettre en place des lignes de bordures d'une espèce végétale différente de façon à entourer complètement le champ ;
- — à la récolte laisser de côté les lignes les plus extérieures. Trier les semences (conforme, non conforme), stocker dans de bonnes conditions (température, hygrométrie), contrôler la faculté germinative (avant et après stockage) et la pureté variétale.

2.2. Cas des plantes allogames

La fécondation croisée est de règle, par conséquent l'hybridation est naturelle. Elle est obligatoire si la plante est dioïque : palmier-dattier, papayer. Souvent elle découle de la structure monoïque des inflorescences. Pour les inflorescences hermaphrodites elle peut être indispensable si la période réceptive des organes femelles diffère de la période

productive des organes mâles : ce sont les cas des avocatiers (étamines à maturité différée de 15 heures à 30 heures par rapport aux organes femelles), du tournesol et du mil (étamines mûres les premières : protandrie). Elle est nécessaire s'il y a auto-incompatibilité (autostérilité) comme chez le caféier *Canephora*.

De toute façon à part chez quelques plantes comme l'arachide il y a toujours un pourcentage de fécondation croisée.

Le pollen est véhiculé par le vent, les insectes ... par une combinaison de ces vecteurs.

Dans la mesure où l'on possède une plante homozygote (variété fixée) et à l'exclusion des hybrides on peut la multiplier par autofécondation (panmixie contrôlée) de la même façon que pour les plantes autogames. Toutefois les précautions d'isolement seront plus importantes (exemple le maïs) :

— la distance qui séparera un champ semencier de toute culture de même espèce sera aussi grande que possible (1 km est un minimum) .
— exploiter les écrans naturels :
  - topographie,
  - rideau de végétation ;
— créer des écrans artificiels de plantes d'une espèce différente aussi hauts que possible (*pennisetum* et *sorghum* géants pour le maïs).

2.3. Le cas des hybrides

Ils résultent du croisement de génotypes différents.

Ils sont hétérozygotes et par conséquent ne peuvent être reproduits qu'à partir des lignées parentales qui elles seules sont à un état homozygote.

Pour pouvoir multiplier un hybride par voie de semences, il faut donc disposer des lignées parentales à traiter en culture isolée ou en autofécondation stricte.

En cas de doute on peut vérifier simplement l'état homozygote ou hétérozygote d'une plante. Par autofécondation on observe à la génération suivante des phénotypes différents du parent lorsque ce dernier est à l'état hétérozygote, c'est le phénomène de disjonction.

La même procédure sera faite à partir de souches parentales autofécondées pour créer les hybrides composites mais sans passer par le croisement.

III

SCHÉMA D'ORGANISATION DE PLANS DE MULTIPLICATION

Qu'il s'agisse de multiplication de clones ou de semences les mêmes règles sont à observer avec plus ou moins de facilité dans l'exécution.

3.1. Constitution d'un pied de cuve.

C'est un travail aisé pour la production de clones puisqu'une fois le cultivar choisi, il se reproduira toujours semblable à lui-même à partir d'un parc à bois initial constitué par des têtes de clônes. Si la culture pose des problèmes de fécondation croisée, il faut prévoir au moins deux clônes différents dont l'un sera le pollinisateur (cas du café Canephora). Pour les semences il faut d'abord veiller au maintien de la pureté variétale pour éviter la dégénérescence par mélange. Ce pied de cuve doit être entretenu par des cultures contrôlées permettant une bonne nutrition de la plante. La conservation des qualités initiales sera assurée si elle se fait dans des unités de recherche appliquée équipées pour ce genre de travail.

3.2. Multiplication proprement dite

Le pied de cuve donne les semenceaux (clones) ou les semences de première multiplication ou M1 qui peuvent faire l'objet soit d'une diffusion directe à certaines zones privilégiées soit d'une culture sous contrat avec des paysans sélectionnés, soit d'une multiplication dans des fermes spécialisées. On pourra ainsi réaliser en grande culture les multiplications suivantes M2 et M3. Les champs exploités sous contrat seront contrôlés de près par les responsables semenciers des Centres de conservation des pieds de cuve.

3.3. Le rinçage.

Le problème de la pureté variétale étant le principal pour la diffusion de semences nouvelles on recommande la pratique des vagues de distribution successives. Chaque vague rince le terrain en absorbant le reliquat éventuel de l'ancien matériel végétal. Ce rinçage systématique s'adresse surtout aux cultures annuelles ou bisannuelles (manioc, coton, arachide, maïs...). Pour les cultures pérennes l'arrachage du mauvais matériel s'impose avant la plantation.

3.4. Cas des hybrides.

Il s'agit ici de la production des hybrides dits industriels qui sont soit des hybrides simples ou complexes recherchés pour leur heterosis, soit des hybrides composites ou synthétiques.

Les souches parentales seront conservées comme pied de cuve dans des centres spécialisés. Les techniques de croisement et de mélange seront appliquées ensuite en grande culture avec un contrôle sérieux de la pollinisation. Parfois on a cherché des parents qui étaient mâles stériles pour faciliter les croisements.

IV

GLOSSAIRE

(Voir le chapitre Zootechnie pour les termes propres à la sélection animale)

Allèle : état différentiel d'un gène dû à une transformation de sa structure qui entraîne une transformation de ses propriétés.

Allogame : plante à fécondation croisée.

Anémophile : plante dont le pollen est véhiculé par le vent.

Anthèse : libération du pollen.

Self-fertilization on autogamy : fécondation entre gamètes ♂ et ♀ d'une même plante.
Par extension croisement entre individus d'un même génotype.

Autogamie : autofécondation se produisant naturellement.

Back-cross : retrocroisement = croisement en retour : croisement entre un hybride et l'un des parents, en général le récessif.

Caractère : propriété morphologique, structurale ou fonctionnelle utilisée pour la description du phénotype.

Caryotype : ensemble des chromosomes d'un noyau.

Chromosomes : organites nucléaires généralement constants en nombre et en forme au sein d'une espèce. Supports linéaires des gènes.

Clones : descendance asexuée d'une cellule ou d'une plante.

Consanguinité = croisement consanguin = autofécondation : génératrice de pertes de fertilité pour les plantes allogames.

Cultivar : collection de plantes de la même espèce obtenue par sélection pour être cultivée. Souvent on emploie le terme impropre de variété qui doit être réservé aux types botaniques naturels.

Descendance : générations successives.

Dioïque : séparation des organes ♂ et ♀ sur deux plantes.

Disjonction : voir ségrégation.

F1, F2 ..., Fn : 1°, 2° ... n° génération après hybridation.

Fécondation : fusion d'un gamète ♂ et d'un gamète ♀ chacun à n chromosomes pour donner un zygote (œuf) à 2 n.

Gamète : cellule reproductive.

Gamétogénèse : formation des gamètes.

Gamétophyte : phase du cycle d'un végétal qui aboutit à la formation des gamètes après la méïose.

Gène : concept biologique représentant une unité héréditaire qui occupe sur un chromosome un lieu déterminé ou locus.

Gène récessif : unité héréditaire ne pouvant pas se manifester en présence d'un gène dominant.

Génération : filiation entre des cycles de reproduction sexuée.

Génome : jeu de n chromosomes différents : haploïde : un génome; diploïde : deux génomes...

Génotype : somme totale des gènes; somme partielle des gènes intéressant les caractères étudiés.

Habillage : suppression d'organes pour faciliter l'hybridation.

Hermaphrodite : qui possède les organes reproducteurs ♂ et ♀ = ⚥

Hétérosis = vigueur hybride : stimulus provoqué par un retour à l'état hétérozygote.

Hétérozygote : individu né de la fusion de 2 gamètes génétiquement différents.

Homozygote : individu né de la fusion de 2 gamètes génétiquement identiques.

Hybridation : croisement de génotypes différents :
— inter variétale;
— inter spécifique.

Lignée : descendants successifs par voie sexuée d'un même individu.

Locus (pluriel = loci) : point chromosomique d'un gène comparable à un point géographique.

Méïose : réduction chromatique : passage du sporophyte ou diplophase au gamétophyte ou haplophase.

Mitose : division cellulaire qui aboutit à deux cellules filles de même génotype.

Monoïque : séparation des organes ♂ et ♀ sur une même plante.

Mutation : transformation fortuite et brutale de l'information héréditaire d'un ou plusieurs gènes.

Panmixie : mode de reproduction où tous les gamètes se rencontrent au hasard (cas des populations).

Parthénogénèse : développement d'un individu à partir d'un gamète non fécondé.

Phénotype : expression d'un génotype modifié par l'expression du milieu.

Rinçage : premières opérations de diffusion de semences destinées à éliminer toute trace des semences précédentes.

Ségrégation : séparation des phénotypes parentaux (ex. à la F2).

Sélection naturelle : avantage ou désavantage d'un génotype dans les conditions naturelles qui modifient sa fréquence dans la population à la génération suivante.

Sélection par l'homme : recherche des génotypes idéaux adaptés à ses besoins par différentes méthodes :
— sélection massale : épuration d'une variété connue;
— sélection généalogique : étude de descendance;
— hybridations;
— mutations...

Sporophyte : phase du cycle d'un végétal après fécondation.

Sport = mutant : mutation.

Test-cross : croisement avec un parent récessif complet (testeur) qui permet d'analyser le génotype d'un hybride.

Zygote = œuf : union d'un gamète ♂ et d'un gamète ♀.

CHAPITRE X

IRRIGATION ET DRAINAGE

INTRODUCTION

Les plantes sont des êtres vivants qui ont besoin d'eau pour constituer la matière végétale et, surtout, pour assumer la fonction de la transpiration.

Leurs besoins se manifestent avec une intensité variable pendant toute la durée de leur cycle végétatif propre. Les conditions naturelles d'approvisionnement en eau (humidité du sol en place, quantités et répartition des pluies) ne sont pas toujours adaptées à ces exigences biologiques.

Si cet approvisionement est trop faible, le rôle **de l'irrigation** est d'apporter les compléments d'eau nécessaires et suffisants.

Inversement, un sol gorgé d'eau, voire submergé pendant de longues périodes, est également contraire aux exigences biologiques des plantes cultivées : les racines doivent se développer dans un milieu aéré. **L'assainissement** ou le **drainage** ont pour objet d'éliminer du sol les excédents d'eau asphyxiants ou qui contrarient, pour le moins, l'exécution des opérations culturales ou de récolte.

I

IRRIGATION

Les éléments à prendre en considération sont :

— **Le climat** qui détermine l'importance des besoins et leur situation dans le temps.

— **Les plantes** qui ont leurs nécessités particulières et occupent le terrain pendant des périodes plus ou moins longues.

— **Les sols** qui servent d'organe de transport et de stockage de l'eau et dont les propriétés, à cet égard, dépendent de leur nature.

— **Les hommes** qui doivent procéder à la réalisation d'ouvrages de captage, de distribution, aux aménagements du terrain, mettre en œuvre de nouveaux procédés culturaux, s'astreindre à une éventuelle discipline pour l'usage des eaux.

Les besoins et les modes d'utilisation étant déterminés, il importera de rechercher et de mobiliser les ressources en eau existantes nécessaires en quantité et en qualité.

Cet ordre logique des démarches à entreprendre sera celui du présent mémento. En la matière, en effet, la méthodologie est aussi importante que les données des calculs.

1. DETERMINATION DES BESOINS EN EAU DES PLANTES CULTIVEES

1.1. Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau évaporée par le sol et la végétation lorsqu'ils sont bien pourvus en eau.

1.1.1. LES FORMULES

Les formules les plus utilisées pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle sont les suivantes :

BLANEY et CRIDDLE

$$\underset{\text{mm/mois}}{ETP} = \frac{K}{100} (45{,}7\ t_c + 813)\ P$$

avec K : coefficient propre à chaque culture

t_c : température moyenne mensuelle en degrés Celsius

P : pourcentage d'heures diurnes pendant le mois considéré par rapport au nombre d'heures diurnes annuelles.

TURC

$$\underset{\text{mm/mois}}{ETP} = (Ig + 50)\ 0{,}40\ \frac{t}{t+15}$$

avec Ig : valeur moyenne de la radiation solaire globale en cal/cm²/jour.

$$Ig = IgA\ (0{,}18 + 0{,}62\ \frac{h}{H})$$

IgA = énergie de la radiation solaire qui atteindrait le sol en l'absence d'atmosphère.

h : durée d'insolation en heures.

H : durée astronomique du jour en heures.

t : voir page 197.

D'autres formules telles que PENNMAN, THORNWAITE, BOUCHET et WALKER, sont plus rarement utilisées car les données nécessaires à leur application sont souvent incomplètes.

% DE LA DUREE D'ECLAIREMENT POUR CHAQUE MOIS DE L'ANNEE

1. LATITUDE NORD

	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°
Janvier	8,49	8,42	8,35	8,27	8,21	8,13	8,05	7,98	7,90	7,83	7,75	7,66	7,57
Février	7,73	7,69	7,65	7,61	7,57	7,53	7,49	7,44	7,40	7,35	7,31	7,26	7,21
Mars	8,49	8,48	8,47	8,47	8,46	8,45	8,44	8,43	8,43	8,42	8,41	8,40	8,39
Avril	8,21	8,24	8,27	8,30	8,33	8,36	8,39	8,42	8,45	8,48	8,52	8,55	8,59
Mai	8,49	8,55	8,61	8,67	8,47	8,81	8,88	8,95	9,02	9,09	9,16	9,24	9,32
Juin	8,21	8,28	8,36	8,44	8,52	8,60	8,68	8,76	8,84	8,92	9,01	9,10	9,19
Juillet	8,49	8,56	8,63	8,70	8,77	8,85	8,93	9,01	9,09	9,17	9,25	9,33	9,41
Août	8,49	8,53	8,57	8,61	8,66	8,71	8,75	8,79	8,84	8,89	8,94	8,99	9,04
Septembre	8,21	8,21	8,22	8,23	8,24	8,25	8,25	8,26	8,27	8,28	8,29	8,30	8,31
Octobre	8,49	8,46	8,43	8,40	8,37	8,33	8,30	8,27	8,24	8,21	8,17	8,14	8,11
Novembre	8,21	8,16	8,10	8,04	7,98	7,92	7,85	7,78	7,71	7,64	7,57	7,50	7,43
Décembre	8,49	8,41	8,33	8,24	8,15	8,06	7,98	7,89	7,80	7,71	7,62	7,53	7,43

	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°
Janvier	7,48	7,38	7,29	7,18	7,08	6,97	6,86	6,76	6,60	6,43	6,27	6,10	5,94
Février	7,15	7,10	7,05	6,99	6,93	6,87	6,81	6,75	6,67	6,59	6,51	6,43	6,35
Mars	8,39	8,38	8,37	8,36	8,35	8,34	8,33	8,32	8,31	8,29	8,27	8,25	8,23
Avril	8,63	8,67	8,71	8,75	8,79	8,83	8,88	8,93	8,98	9,04	9,10	9,16	9,22
Mai	9,40	9,48	9,56	9,65	9,74	9,81	9,92	10,01	10,14	10,28	10,24	10,56	10,70
Juin	9,29	9,39	9,49	9,60	9,71	9,83	9,95	10,07	10,24	10,41	10,58	10,75	10,93

	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°
Juillet	9,49	9,57	9,66	9,77	9,88	9,99	10,10	10,21	10,36	10,51	10,66	10,81	10,97
Août	9,09	9,15	9,21	9,27	9,33	9,33	9,47	9,54	9,63	9,73	9,83	9,93	10,03
Septembre	8,32	8,33	8,34	8,35	8,36	8,37	8,38	8,39	8,40	8,41	8,42	8,44	8,46
Octobre	8,07	8,03	7,99	7,95	7,91	7,86	7,81	7,76	7,70	7,64	7,58	7,52	7,45
Novembre	7,36	7,28	7,20	7,11	7,02	6,93	6,83	6,73	6,60	6,47	6,34	6,21	6,08
Décembre	7,33	7,23	7,13	7,01	6,89	6,77	6,65	6,53	6,36	6,18	6,00	5,82	5,64

2. LATITUDE SUD

	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°
Janvier	8,49	8,56	8,63	8,70	8,78	8,86	8,94	9,02	9,10	9,19	9,28	9,36	9,44	9,52	9,61	9,70
Février	7,73	7,76	7,80	7,84	7,88	7,92	7,96	8,00	8,04	8,08	8,13	8,18	8,23	8,28	8,33	8,39
Mars	8,49	8,49	8,50	8,50	8,51	8,52	8,53	8.54	8,55	8,56	8,57	8,57	8,58	8,58	8,59	8,59
Avril	8,21	8,19	8,16	8,13	8,10	8,07	8,04	8,01	7,97	7,93	7,89	7,85	7,81	7,77	7,73	7,69
Mai	8,49	8,43	8,37	8,31	8,25	8,19	8,12	8,05	7,98	7,91	7,84	7,77	7,69	7,61	7,53	7,45
Juin	8,21	8,13	8,05	7,97	7,89	7,81	7,73	7,65	7,57	7,49	7,40	7,31	7,22	7,13	7,04	6,95
Juillet	8,49	8,42	8,35	8,28	8,21	8,13	8,06	7,99	7,91	7,83	7,75	7,66	7,57	7,48	7,39	7,29
Août	8,49	8,49	8,41	8,37	8,32	8,27	8,23	8,19	8,14	8,09	8,04	7,99	7,94	7,88	7,82	7,76
Septembre	8,21	8,21	8,20	8,20	8,19	8,18	8,17	8,16	8,15	8,14	8,13	8,12	8,11	8,10	8,09	8,08
Octobre	8,49	8,51	8,53	8,56	8,59	8,62	8,65	8,68	8,71	8,74	8,78	8,82	8,86	8,90	8,94	8,99
Novembre	8,21	8,27	8,33	8,39	8,46	8,53	8,59	8,66	8,73	8,80	8,87	8,94	9,01	9,09	9,17	9,25
Décembre	8,49	8,57	8,65	8,73	8,81	8,90	8,98	9,06	9,14	9,23	9,32	9,42	9,53	9,64	9,75	9,86

1.1.2. UTILISATION DES FORMULES

L'ETP se détermine par le calcul en appliquant directement les formules ou par utilisation d'abaques.

Les abaques de TURC et de BLANEY et CRIDDLE se trouvent dans « Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations » (Collection Techniques Rurales en Afrique), et l'abaque de WALKER dans « Projet conjoint d'Agroclimatologie » par COCHEMÉ et FRANQUIN, FAO/UNESCO/OMN.

D'une façon pratique, on tend de plus en plus à calculer les besoins en eau d'irrigation (consommation globale) à partir des mesures réalisées sur bac d'évaporation.

$$\text{Besoins en eau} = C \times \text{évaporation du bac}$$

C étant un coefficient caractéristisque de l'espèce de la variété et du stade végétatif.

Dans la zone soudano-sahélienne on a vérifié que :

$$ETP = 0{,}7 \text{ à } 0{,}8\ E_v \text{ bac}$$

E_v bac = mesurée sur bac Colorado enterré (Classe A).

Pour le calcul de l'évapotranspiration dans la zone soudano-sahélienne de l'hémispère nord, l'IRAT préconise l'application des formules suivantes en fonction des saisons :

Octobre	Formule de TURC avec $t = \bar{t}$ 12 h (moyenne des températures à 12 h) Formule de BLANEY et CRIDDLE ($t = \bar{t}$ 12 h) Formule de WALKER avec $t = \frac{\bar{tx} + \bar{tn}}{2}$ (moyenne des températures maxima et minima).
Novembre à Mars	Formule de TURC ($t = \bar{t}$ 12 h) Formule de WALKER ($t = \bar{t}$ 12 h)
Avril à Juin	Formule de BLANEY et CRIDDLE ($t = \bar{t}$ 12 h) Formule de WALKER ($t = \bar{t}$ 12 h)
Juillet à Septembre	Formule de TURC ($t = \frac{\bar{tx} + \bar{tn}}{2}$)

1.1.3. QUELQUES RESULTATS OBTENUS EN ZONE SOUDANO-SAHELIENNE (IRAT)

Consommation globale et détermination des facteurs K et K'.

$$K = \frac{ETM}{ETP} = \frac{\text{consommation en eau maximale (pour une période donnée)}}{0{,}8\ Ev.\ B}$$

$$K' = \frac{ETM}{Ev.B}$$

— **Coton :** variété Allen 333 (saison sèche)

Consommation en eau globale durant 140 jours après le semis : 8500 m³
Coefficient K :

- du semis au démariage 0,5
- du démariage à la floraison 0,8
- du début de la floraison à la première récolte 1,0

— **Tomates :** variété « Ronita »

Consommation en eau globale durant 130 jours : 8250 m³
Coefficient K :

- du repiquage au début de la floraison 0,75
- de la floraison à la fructification 0,95
- de la fin de la fructification à la récolte 0,90

— **Canne à sucre**

Consommation globale : 10 000 à 20 000 m³/an avec une saison sèche marquée de 4 à 5 mois.
Coefficient K' pour les divers stades de végétation :

- du repiquage au 1/4 couverture 0,4
- du 1/4 au 1/2 couverture 0,6
- du 1/2 au 3/4 couverture 0,8
- du 3/4 à la couverture totale 1,0
- pleine croissance 1,2
- sénescence 0,9
- maturation 0

— **Riz**

La consommation en eau des cultures de riz varie avec la saison de culture, la date de mise en place dans cette saison, et avec le type de sol où elle est pratiquée.
La consommation globale varie entre 12 000 et 20 000 m³/ha, y compris les quantités d'eau nécessaires à la mise en eau des casiers.
La consommation moyenne journalière est d'environ 8 mm/jour sur sols moyens.
En admettant des variations possibles du plan d'eau de 40 mm, il suffit d'assurer une irrigation d'entretien tous les 4 jours.

1.2. Besoins théoriques

On calcule l'ETP mois par mois pour la période de végétation active de la culture considérée en utilisant les formules citées précédemment.

Les **besoins** en eau **mensuels théoriques** sont obtenus en retranchant de l'évapotranspiration mensuelle la pluviométrie moyenne mensuelle P.

$$B\ th\ (en\ mm) = ETP - P$$

1.3. Besoins pratiques

L'efficience (E) de l'irrigation à l'exploitation, ou **efficience** totale, est le pourcentage de l'eau d'irrigation délivré à l'entrée de l'exploitation et utilisé par l'évapotranspiration pour une culture déterminée, déduction faite des pertes par ruissellement et par percolation.

Valeurs de l'efficience et des pertes généralement admises :

	Sol sableux	Sol Moyen	Sol argileux
Pertes (p)			
— par ruissellement	5 %	15 %	30 %
— par percolation	40 %	10 %	5 %
— dans les canaux	15 %	5 %	2 %
Efficience à l'exploitation	40 %	70 %	63 %

$$Bp = Bth + P = \frac{Bth}{E}$$

$$\text{Besoins pratiques} = \text{besoins théoriques} + \text{pertes} = \frac{\text{Besoins théoriques}}{\text{Efficience}}$$

1.4. Conversion des hauteurs d'eau en volume d'eau

Une hauteur d'eau de 1 mm représente un volume de 10 m³/ha.
Pour une exploitation de 3 ha, avec des besoins en eau d'irrigation de 100 mm, le volume d'eau à distribuer pour l'ensemble de l'exploitation devra être de :

$$10 \times 100 \times 3 = 3\,000\ m^3$$

2. APPRECIATION DES CONTRAINTES PHYSIQUES DU SOL

Les caractéristiques physiques du sol conditionnent la présence et la dynamique de l'eau nécessaire à la plante :

— **Densité réelle** (dr) : c'est la densité des particules constitutives du sol (moyenne dr = 2,6)

— **Densité apparente** (da) : elle se définit comme le rapport du poids de terre sèche dans un certain volume de sol en place, au poids d'un volume d'eau égal.

En moyenne on obtient les résultats suivants :

- **sols sableux** : da = 1,50 à 1,80
- **sols limoneux** : da = 1,30 à 1,50
- **sols argileux** : da = 1,10 à 1,30

— **Porosité :** rapport en pourcentage du volume des vides du sol (espaces remplis d'air et d'eau) au volume total du sol (en moyenne p = 40 %)

- **sols sableux** : p = 30 à 40 %
- **sols argileux** : p = 40 à 55 %

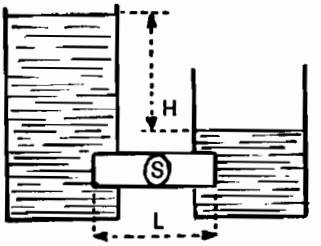
— **Perméabilité :** vitesse de filtration de l'eau dans le sol saturé quand la pente motrice I est égale à l'unité. C'est l'expression de la loi de Darcy :

$$Q = KS\frac{H}{L} = K.S.I.$$

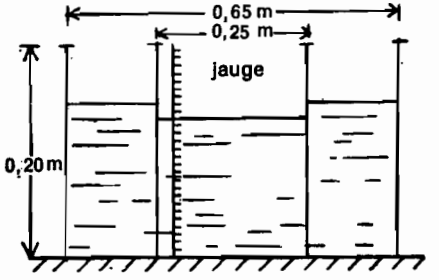
où H = L donc I = 1 (pente motrice)

K : coefficient caractéristique du matériau ou coefficient de perméabilité, K est donné en m/sec. Il peut être noté p et est alors exprimé en cm/heure.

S : section.



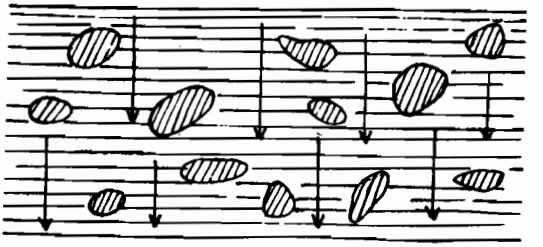
La perméabilité se mesure expérimentalement, par la méthode du double anneau, en utilisant, dans toute la mesure du possible, l'eau qui servira à l'irrigation. L'anneau périphérique permet d'éviter les erreurs par excès dues à l'infiltration latérale. Les mesures se font dans l'anneau intérieur de quart d'heure en quart d'heure.



— **sols sableux très perméables** : $K > 1 \times 10^{-5}$ m/sec
— **sols moyens (terres franches)** : $K < 1 \times 10^{-6}$ m/sec
— **sols argileux** : $K < 1 \times 10^{-7}$ m/sec

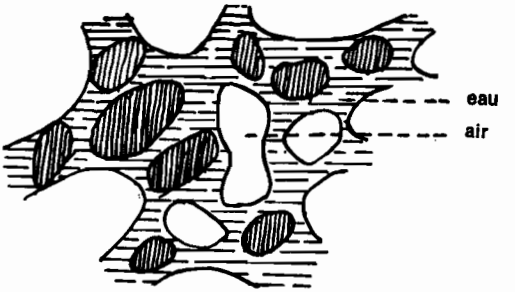
— **Différents états de l'eau dans le sol :**

- **eau gravitaire :** eau remplissant tous les vides du sol sous l'action de la gravité (poids de l'eau circulant librement dans les espaces lacunaires du sol et descendant en profondeur).



L'eau gravitaire occupe tous les vides du sol

- **eau de capillarité :** eau demeurant dans le sol après ressuyage, retenue par capillarité, mobilisable en partie par les plantes.



— **Dynamique du sol :**

- **capacité de rétention** (tR) **ou capacité au champ :** définit en poids (pourcentage d'eau par rapport au poids de sol sec) l'état de ressuyage d'un sol arrosé qui s'est drainé librement et traduit, théoriquement, le passage de l'état de saturation à l'état de capillarité de l'eau dans le sol. Sa détermination est délicate, aussi lui substitue-t-on celle de l'humidité équivalente.

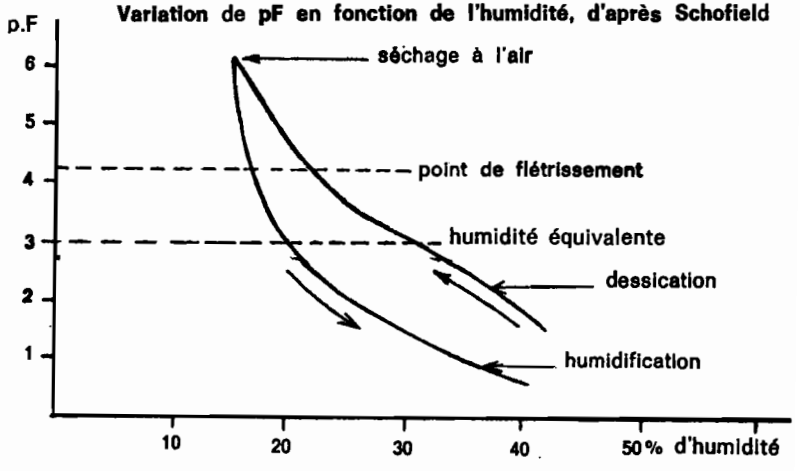
- **humidité équivalente** (He) : c'est une valeur arbitraire du taux d'humidité correspondant à la teneur en eau résiduaire d'un échantillon de sol soumis, par centrifugation, à une force de 1 000 g équivalente à la pression exercée par une colonne d'eau de 10 m de hauteur, soit 1 atmosphère.

- **point de flétrissement** (tF) : c'est le taux d'humidité en-dessous duquel les plantes ne peuvent plus assurer leur subsistance. Le flétrissement est caractérisé par une certaine tension d'humidité correspondant à peu près à 15 atmosphères $\neq\neq$ 150 m.

- **potentiel capillaire** (pF) : le mode d'expression le plus commode de l'énergie de rétention de l'eau par le sol est le potentiel capillaire, qui est le logarithme de cette force en centimètres d'eau.

  Ex. : pour une force de 1 000 cm (environ 1 atmosphère) pF = 3 ≠≠ He; pour une force de 15 000 cm (environ 15 atmosphères) pF = 4,2 = tF.

Variation de pF en fonction de l'humidité, d'après Schofield



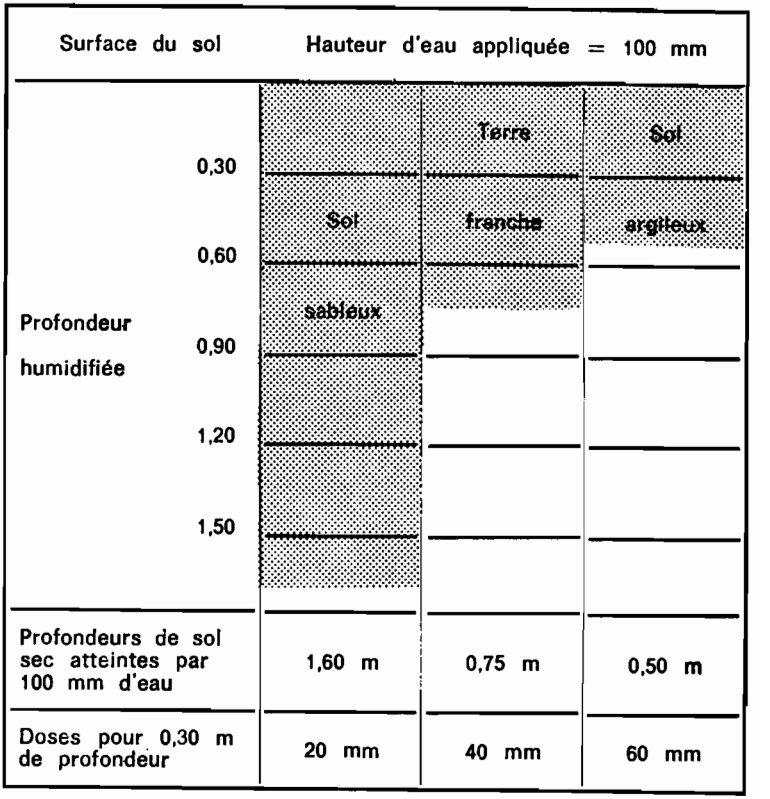
- **capacité utile d'un sol** (Cu) : c'est, pour une profondeur d'humectation donnée, la dose maximale d'arrosage (dm) qu'un sol peut recevoir; soit, pour un sol de surface s et de profondeur p :

$$dm = 0{,}45 \text{ p.s. da} \times He \ (\%)$$

Tableau de valeurs moyennes

Sols	Densité apparente	He % humidité équiv.	% argile
Argiles	1,10 à 1,30	30 à 50	50 à 60
Limons	1,30 à 1,50	20 à 30	25 à 50
Limons sableux	1,50 à 1,70	8 à 20	10 à 25
Sables	1,70 à 1,80	2 à 20	3 à 10

Un même volume d'eau « humidifie » (à la capacité de rétention) des profondeurs de terres très différentes, selon la nature des sols :



3. DOSES ET FREQUENCE DES ARROSAGES

3.1. Dose d'arrosage

3.1.1. DOSE THEORIQUE

Les doses d'arrosage sont les volumes (ou hauteurs d'eau) administrés au sol, nécessaires et suffisants pour satisfaire la capacité utile de rétention du sol sur toute la profondeur atteinte par les racines des plantes.

Elles se calculent à partir du taux d'humidité préexistant dans le sol qui ne doit pas être inférieur au taux de flétrissement.

tR = taux de rétention (ou He = Humidité équivalente)
Ho = taux d'humidité préexistant (avec tF = point de flétrissement pour limite inférieure)

da = densité apparente du sol en place
p = profondeur des racines, en mètres
S = surface à arroser, en mètres carrés.

La dose d'arrosage se détermine :

— en volume (m^3) par application de la formule

$$D = p.\ S.\ da.\ \frac{He - Ho}{100}$$

si on prend tF comme valeur minimale de Ho, avec

$$tF = \frac{He}{1{,}84} = 0{,}55\ He$$

on obtient :

$$D = p.\ S.\ da.\ \frac{0{,}45\ He}{100}$$

Pour 1 ha on a :

$$D = 45\ p.\ da.\ He$$

— en hauteur d'eau (mm) (1 mm = 10 m^3/ha)

$$D' = 4{,}5 \times p.\ da.\ He$$

3.1.2. DOSE PRATIQUE

Pratiquement l'usager ne devra pas attendre de voir le taux d'humidité du sol tomber jusqu'à la valeur du point de flétrissement. Il devra donc suivre les variations de ce taux d'humidité et intervenir lorsque celui-ci ne représente plus qu'un tiers de la capacité de rétention, soit en définitive :

$$D'\ (mm) = 3\ p.\ da.\ He$$

3.2. Fréquence des arrosages

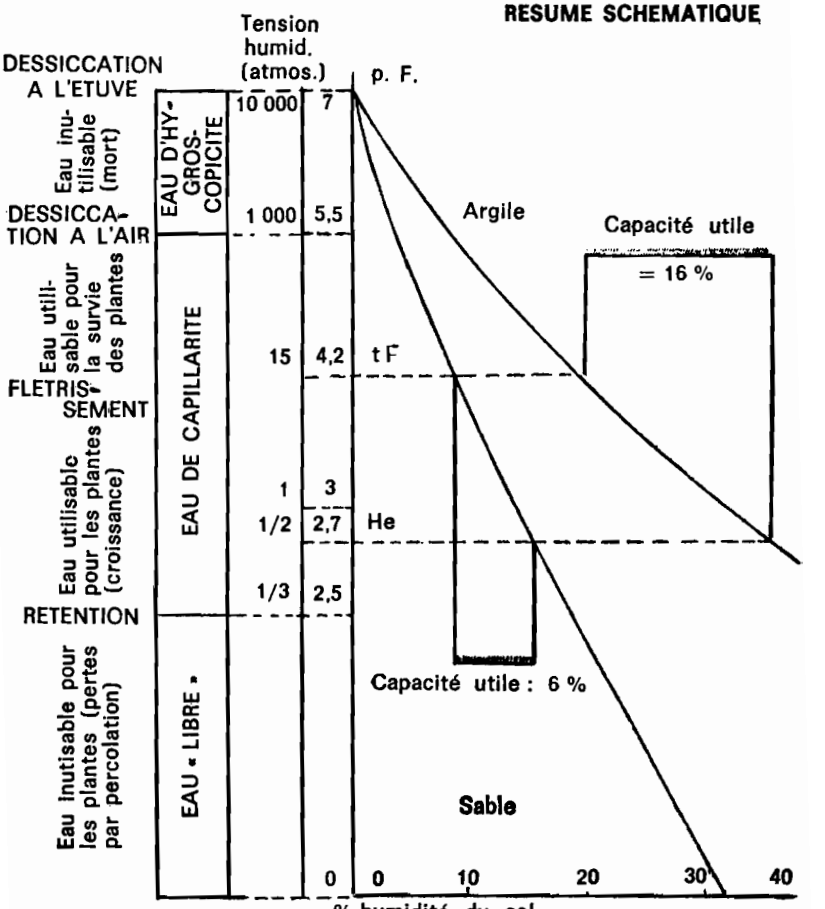
Si pour un mois donné l'on a trouvé un besoin pratique B et si l'on applique à chaque arrosage la dose pratique D on devra effectuer dans le mois N arrosages :

$$N = \frac{B}{D}$$

4. DEBITS ET MODULES

Le paramètre « temps » permet de passer des volumes (ou des hauteurs d'eau) définissant les « besoins » aux débits définissant les « ouvrages ». Il faut aussi que les débits livrés soient utilisables par les usagers.

Débit fictif continu : C'est le débit qui, fourni d'une façon continue 24 heures sur 24, permettrait de satisfaire les besoins d'une période donnée pour la surface unitaire. Il s'exprime généralement en litres par seconde et par hectare (l/s/ha).



N. B. — Le graphique ci-dessus illustre l'intérêt de la représentation logarithmique des tensions d'humidité.

Exemple

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
Nombre de jours ..	30	31	30	31	31	30
Besoins (m^3/ha) ..	500	1 100	1 700	2 500	1 800	800
Débit fictif continu (l/s/ha) ..	0,19	0,40	0,65	0,92	0,67	0,31

Débit réel : Il influe sur le calcul des ouvrages. Il se calcule en fonction du temps réel de service des ouvrages dans la journée. Exemple ci-dessus avec 10 heures par jour : multiplier les débits fictifs par :

$$\frac{24}{10} = 2{,}4.$$

Le débit réel peut être réduit en augmentant les temps d'irrigation.

Module parcellaire : C'est le débit que l'usager utilise effectivement à l'unité parcellaire d'arrosage. Il a pour limite supérieure la « main d'eau », c'est-à-dire le débit qu'un homme peut « manier » sans être débordé. La valeur de la main d'eau varie de 15 à 100 l/s selon les systèmes d'arrosage et les terrains avec une main-d'œuvre expérimentée. En Afrique intertropicale, pour la culture en planches, la main d'eau courante dépasse rarement 5 l/s.

Modules parcellaires
(l/s par unité parcellaire d'arrosage)

Méthode	Unités	Sols légers	Sols lourds
Rigoles	l/s par m de rigole	1 à 1,5	0,5 à 1
Planches	l/s par m de larg. planche	2 à 15	1,5 à 7
Bassins (vergers)	l/s par 100 m^2 de bassin	5 à 10	2,0 à 5
Sillons	l/s par 100 m longueur	0,3 à 2	0,1 à 0,5

Module de distribution: C'est le débit livré par les prises de dernier ordre du réseau de distribution. Sa valeur minimale est le module parcellaire, sa valeur maximale la main d'eau.

Modules de distribution		
Méthode d'arrosage	Sols légers	Sols lourds
Rigoles de déversement	25 à 40 l/s	15 à 30 l/s
Planches pente moyenne (1 à 10 ‰)	20 à 60 l/s	15 à 60 l/s
pente faible (< 1 ‰)	40 à 100 l/s	25 à 100 l/s
Bassins (vergers) pente moyenne	20 à 40 l/s	10 à 30 l/s
pente faible	25 à 50 l/s	15 à 40 l/s
Sillons pente moyenne	20 à 30 l/s	10 à 20 l/s
pente faible	20 à 40 l/s	15 à 30 l/s
Aspersion	5 à 20 l/s	2 à 10 l/s

NB = planche : en provençal « calant »

5. RAPPEL DE NOTIONS D'HYDRAULIQUE

5.1. Ecoulement dans divers ouvrages hydrauliques.

5.1.1. ORIFICES, AJUTAGES, VANNES

La loi générale d'écoulement à travers les orifices, ajutages, vannes est :

$$Q(m3/s) = S(m2) \times U(m/s) = S(m2) \times m \sqrt{2 \times g(m/s^2) \times h(m)}$$

Q étant le débit, m un coefficient fonction du type d'orifice, S la surface de la section de passage et h la différence de cote :

- — entre niveau amont et centre de gravité de la section de passage dans le cas d'écoulement libre,
- — entre niveau amont et niveau aval dans le cas d'écoulement noyé,

et g l'accélération de la pesanteur.

Valeurs moyennes de m :

Orifice mince paroi	0,60
Orifice paroi épaisse, profilé	0,98
Ajutage sortant	0,80
Vanne verticale dénoyée	0,70
Vanne verticale noyée	0,60

Caractéristiques de quelques canaux terminaux calculées par la formule de Manning et Strickler : $Q = S. \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$

S = Section mouillée - P = Périmètre mouillé - R = Rayon hydraulique - I = pente ‰

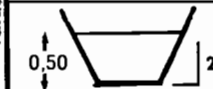
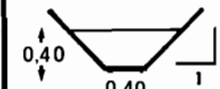
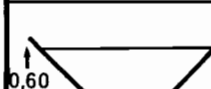
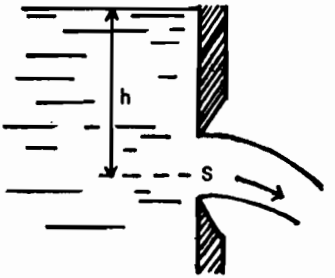
Les vitesses sont exprimées en m/s Les débits sont exprimés en l/s		Pente en m/km ou ‰	Canal bien curé n = 0,025		Canal en herbe n = 0.033	
			Vitesse	Débit	Vitesse	Débit
Talus inclinés à 2/1	 S = 0,165 m² P = 1,07 m R = 0,154 m	0,50	0,26	43	0,19	31
		1,00	0,36	59	0,27	45
		1,50	0,45	74	0,34	56
		2,00	0,51	84	0,39	64
	 S = 0,326 m² P = 1,51 m R = 0,216 m	0,50	0,32	104	0,24	78
		1,00	0,45	146	0,34	111
		1,50	0,56	182	0,42	136
		2,00	0,64	208	0,48	156
	 S = 0,425 m² P = 1,72 m R = 0,247 m	0,50	0,35	150	0,26	110
		0,80	0,45	191	0,34	144
		1,00	0,49	208	0,37	157
		1,50	0,61	239	0,45	196
Talus inclinés à 1/1	 S = 0,32 m² P = 1,53 m R = 0,209 m	0,50	0,32	102	0,24	77
		0,80	0,40	128	0,30	96
		1,00	0,45	144	0,34	109
		1,50	0,55	176	0,41	131
		2,00	0,63	202	0,49	153
	 S = 0,72 m² P = 2,30 m R = 0,313 m	0,20	0,26	187	0,20	144
		0,50	0,41	295	0,31	223
		1,00	0,58	417	0,44	317
		1,50	0,71	511	0,54	388
		2.00	0.81	583	0,62	446

TABLE DE CONVERSION DES DEBITS

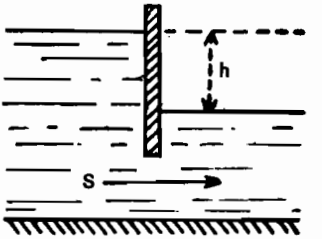
Litres par seconde	Litres par minute	Mètres cubes par heure	Mètres cubes par jour	Mètres cubes par heure	Mètres cubes par jour	Litres par seconde	Litres par minute
1	60	3,6	86,4	1	24	0,278	16,67
2	120	7,2	172,8	2	48	0,556	33,33
3	180	10,8	259,2	3	72	0,833	50,00
4	240	14,4	345,6	4	96	1,111	66,67
5	300	18,0	432,0	5	120	1,389	83,33
6	360	21,6	518,4	6	144	1,667	100,00
7	420	25,2	604,8	7	166	1,944	116,67
8	480	28,8	691,2	8	192	2,222	133,33
9	540	32,4	777,6	9	216	2,500	150,00
10	600	36,0	864,0	10	240	2,778	166,67
12	720	43,2	1 036,8	12	288	3,333	200,00
14	840	50,4	1 209,8	14	336	3,889	233,33
18	960	57,6	1 382,4	16	384	4,444	266,67
18	1 080	64,8	1 555,2	18	432	5,000	300,00
20	1 200	72,0	1 728,0	20	480	5,556	333,33
25	1 500	90,0	2 160,0	25	600	6,944	416,67
30	1 800	108,0	2 592,0	30	720	8,333	500,00
35	2 100	126,0	3 024,0	35	840	9,722	583,33
40	2 400	144,0	3 456,0	40	960	11,111	666,67
45	2 700	162,0	3 888,0	45	1 080	12,500	750,00
50	3 000	180,0	4 320,0	50	1 200	13,889	833,33
55	3 300	198,0	4 752,0	55	1 320	15,278	916,67
60	3 600	216,0	5 184,0	60	1 440	16,667	1 000,00
65	3 900	234,0	5 616,0	65	1 560	18,056	1 083,33
70	4 200	252,0	6 048,0	70	1 680	19,444	1 166,67
75	4 500	270,0	6 400,0	75	1 800	20,833	1 250,00
80	4 800	288,0	6 912,0	80	1 920	22,222	1 333,33
85	5 100	306,0	7 344,0	85	2 040	23,611	1 416 67
90	5 400	324,0	7 776,0	90	2 160	25,000	1 500,00
95	5 700	342,0	8 208,0	95	2 280	26,389	1 583,33
100	6 000	360,0	8 640,0	100	2 400	27,778	1 666,67
110	6 600	396,0	9 504,0	110	2 640	30,556	1 833,33
120	7 200	432,0	10 368,0	120	2 880	33,333	2 000,00
130	7 800	468,0	11 232,0	130	3 120	36,111	2 166,67
140	8 400	504,0	12 096,0	140	3 360	38,889	2 333,33
150	9 000	540,0	12 960,0	150	3 600	41,667	2 500,00
160	9 600	576,0	13 824,0	160	3 840	44,444	2 666,67
170	10 200	612,0	14 688,0	170	4 080	47,222	2 833,33
180	10 800	648,0	15 552,0	180	4 320	50,000	3 000,00
190	11 400	684,0	16 416,0	190	4 560	52,778	3 166,67
200	12 000	720,0	17 280,0	200	4 800	55,556	3 333,33
250	15 000	900,0	21 600,0	250	6 000	69,444	4 166,67
300	18 000	1 000,0	25 920,0	300	7 200	83,333	5 000,00
350	21 000	1 260,0	30 240,0	350	8 400	97,222	5 833,33
400	24 000	1 440,0	34 560,0	400	9 600	11,111	6 666,67
450	27 000	1 620,0	38 880,0	450	10 800	125,000	7 500,00
500	30 000	1 800,0	43 200,0	500	12 000	138,809	8 833,33
600	36 000	2 160,0	51 840,0	600	14 400	166,667	10 000,00
700	42 000	2 520,0	60 480,0	700	16 800	194,444	11 666,67
800	48 000	2 880,0	69 120,0	800	19 200	222,222	13 333,33
900	54 000	3 240,0	77 760,0	900	21 600	250,000	15 000,00
1 000	60 000	3 600,0	86 400,0	1 000	24 000	277,778	16 666,67

Exemples :



$Q = 0{,}60\ S\ \sqrt{2gh}$

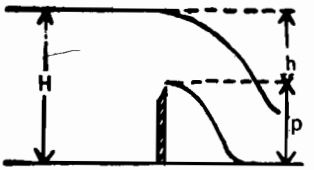
Orifice mince paroi
écoulement libre



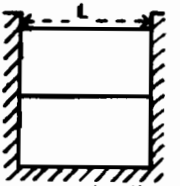
$Q = 0{,}60\ S\ \sqrt{2gh}$

Vanne verticale
écoulement noyé

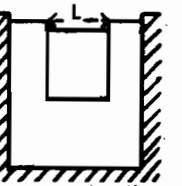
5.1.2. DEVERSOIRS



déversoir à crête mince



sans contraction
(m = 0,43)



avec contraction
(m = 0,40)

La formule générale d'écoulement sur les déversoirs est (formule de Bazin) :

$$Q = m\,L\,h\,\sqrt{2\,g\,h} \qquad m = \left(0{,}405 + \frac{0{,}003}{h}\right)\left(1 + 0{,}55\,\frac{h^2}{(h+p)^2}\right)$$

Q étant le débit en m^3/s,

h la hauteur d'eau au-dessus du seuil du déversoir, en m, mesurée en amont à une distance au moins égale à 4 h,

g l'accélération de la pesanteur en m/s^2 : 9,80 m/s^2,

L la longueur de la crête du déversoir en m,

m un coefficient variant selon le type de déversoir et la hauteur d'eau,

p la profondeur du canal en dessous du seuil, appelée « pelle ».

En première approximation :

— déversoir rectangulaire à crête mince: m = 0,40;
— déversoir rectangulaire à crête épaisse (barrage) : m = 0,385.

Le tableau suivant permet d'obtenir immédiatement le débit q en l/s par mètre de longueur de crête, en fonction de la hauteur d'eau h en mètres et de la hauteur du déversoir p en mètres au-dessus du fond du canal côté amont :

$$Q\ (m^3/s) = L\ (m) \times q\ (m^2/s/m).$$

La formule de Bazin admet qu'il n'y a pas de contraction latérale aux extrémités de la nappe déversante; il faut pour cela que les joues verticales du déversoir soient exactement dans le plan des parois, également verticales, du canal d'amont.

Si la distance d'une joue ou des deux joues du déversoir à la rive amont voisine atteint ou dépasse trois fois la charge h, la contraction latérale qui se produit réduit le débit Q à :

$$Q = q\ (L - \frac{h}{10})\ (1)\ \text{ou}\ Q = q\ (L - \frac{2\,h}{10})\ (2)$$

selon qu'une seule joue (1) ou que les deux joues (2) se trouvent dans le cas ci-dessus.

Cette formule de réduction ne s'applique pas si la longueur L est inférieure à trois ou quatre fois h. Dans ce cas, recourir à la formule générale de Francis pour la contraction latérale :

$$Q = 1{,}83\ (L - 0{,}2\ h)\ h^{3/2}$$

5.2. Mesure des débits.

Les méthodes de jaugeage peuvent être classées en deux catégories :

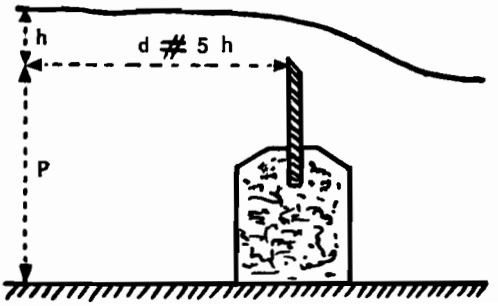
— Les méthodes directes par lesquelles on mesure le débit directement;

— Les méthodes indirectes par lesquelles on évalue séparément la vitesse du liquide, la section d'écoulement. (On ne décrira ici que la méthode du jaugeage au flotteur qui ne nécessite aucun gros matériel ou appareillage compliqué, comme cela est le cas pour les jaugeages au moulinet ou les jaugeages chimiques).

5.2.1. METHODE DIRECTE

5.2.1.1. Jaugeage par déversoir.

Dans le cas d'un canal on emploie souvent le déversoir à mince paroi.



DEBITS DES DEVERSOIRS VERTICAUX EN MINCE PAROI PAR METRE DE LONGUEUR DE L'ECHANCRURE
(Cas de nappes libres sans contraction latérale)

Charge h (m)	Hauteur p du déversoir au-dessus du fond du canal (m)									
	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,50	2,00	infinie
	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s
0,05	23,5	23,3	23,2	23,1	23,1	23,1	23,0	23,0	23,0	23,0
0,06	30,4	30,0	29,8	29,7	29,7	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6
0,08	46,2	45,3	44,9	44,8	44,6	44,5	44,4	44,3	44,3	44,2
0,10	64,6	63,0	62,2	61,8	61,6	61,3	61,2	61,0	60,9	60,1
0,12	85,2	82,7	81,4	80,7	80,3	79,9	79,6	79,3	79,2	79,1
0,14	108	104	102	101	101	100	99,6	99,2	99,1	99,0
0,16	133	128	125	124	123	122	121	120	120	120
0,18	160	153	150	148	147	145	144	143	143	142
0,20	189	181	176	174	172	172	169	168	167	166
0,22	220	210	205	201	199	196	195	193	192	191
0,24	252	241	234	230	227	223	222	219	218	217
0,26	287	273	265	260	257	253	250	247	246	244
0,28	324	308	298	295	288	283	280	276	275	273
0,30	362	344	332	325	320	324	311	307	305	302
0,35		439	424	414	407	398	393	387	384	379
0,40		545	525	512	503	490	482	473	469	462
0,45		661	636	620	607	591	581	568	562	552
0,50			753	732	717	696	683	666	658	644
0,60			1 010	983	961	930	910	882	869	845
0,70			1 300	1 260	1 210	1 190	1 160	1 120	1 100	1 060

Le déversoir peut être constitué par une tôle encastrée verticalement dans un massif en maçonnerie perpendiculaire à l'axe du courant liquide.

Il est nécessaire que la longueur l du seuil soit égale au moins à 4 fois la charge h, laquelle ne doit pas descendre au-dessous de 0,10 m.

La détermination de h se fait lors de chaque essai et doit avoir lieu en amont du seuil à une distance d égale à environ 5 h.

Le jaugeage par déversoir permet d'obtenir une précision de 1 à 2 %. Ensuite, on calcule le débit en utilisant la formule indiquée dans le paragraphe précédent.

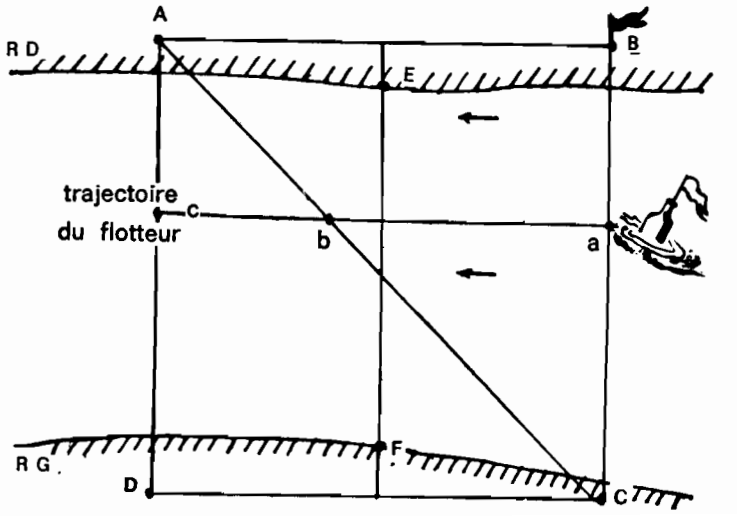
5.2.1.2. Jaugeage par mesure du temps.

Le procédé par mesure du temps nécessaire au remplissage d'un récipient de volume connu est fréquemment à recommander.

5.2.2. METHODE INDIRECTE : JAUGEAGE AU FLOTTEUR

On peut utiliser, pour la mesure des vitesses de surface, soit des flotteurs artificiels lancés par l'opérateur (bouteilles de bière lestées et munies d'un voyant, bâtons lestés), soit les corps flottants naturels. Dans les deux cas, les mesures de vitesse et le repérage de la trajectoire des flotteurs s'effectuent avantageusement par la méthode des deux chronomètres (A. Bouchardeau).

On choisit un tronçon de rivière sensiblement rectiligne. On implante sur les rives 4 jalons A, B, C et D, comme il est indiqué sur la figure ci-après. Le côté AB s'appelle base de mesure. L'opérateur



s'installe en A avec ses deux chronomètres ou, mieux, avec un chronomètre à aiguille rattrapante. Un aide s'installe en B avec un système quelconque de signalisation (drapeau, pistolet).

Lorsqu'un flotteur franchit la ligne BC, l'aide émet un signal, et l'opérateur déclenche simultanément ses deux chronomètres. Quand le flotteur franchit la ligne AC, il arrête un des chronomètres. Il vise alors suivant AD et arrête le deuxième chronomètre. On suppose que la trajectoire du flotteur est rectiligne et parallèle aux rives et que sa vitesse est constante.

Soit t le temps mis pour parcourir ab, T le temps mis pour parcourir ac et u la vitesse du flotteur. On a :

$$u = \frac{ac}{T} = \frac{ab}{t} = \frac{AB}{T}$$

$$ab = AB \frac{aC}{BC} = ut$$

$$Ca = ut \frac{BC}{AB} = BC \frac{t}{T}$$

On obtient ainsi la vitesse et la position du flotteur. Lorsqu'une série de mesures analogues ont été faites avec d'autres flotteurs, on peut tracer la courbe de répartition des vitesses de surface, suivant la largeur de la section médiane, ce qui permet de calculer la vitesse moyenne superficielle Vms.

On sait que le débit est le produit de la vitesse moyenne U dans la section S par la surface de celle-ci, soit :

$$Q(m^3/s) = U(m/s) \times S(m^2)$$

Pour les vitesses très faibles, on peut prendre U = 0,80 Vms, et pour les vitesses fortes U = Vms (pour les rivières moyennes, on peut adopter la valeur 0,90).

La section S peut se calculer en prenant le profil en travers de la section EF, (si les sections en travers varient fortement entre A et B, il faut prendre la moyenne des sections AD, EF et BC).

Les procédés par flotteurs et bâtons lestés ne peuvent donner qu'une faible approximation.

6. METHODES D'IRRIGATION

Soulignons que tout réseau d'irrigation, quelle que soit la méthode employée, doit être complété par un réseau de colature.

6.1. Classification des méthodes d'irrigation.

	L'eau est administrée		
	sur toute la surface	sur une partie de la surface	sous la surface
L'eau est amenée sous forme :			
« courante »			
— sur un côté quelconque de la parcelle	Epandage, déversement		
— sur le petit côté de la parcelle élémentaire	Planche	Sillons, raies, fossés	
« dormante »	Bassins de submersion		Irrigation souterraine
« en pluie »	Aspersion		

6.2. Irrigation par épandage.

Cette méthode consiste à reproduire une inondation naturelle en ménageant des brèches dans les berges des cours d'eau afin de stocker l'eau des crues dans le sol (bassin du Nil, dépressions marginales des vallées du Sénégal et du Niger).

La culture peut se faire sur décrue après retrait des eaux de la zone inondée, ce qui condamne à des cultures de plantes à cycle végétatif court s'il n'y a pas de relais des pluies.

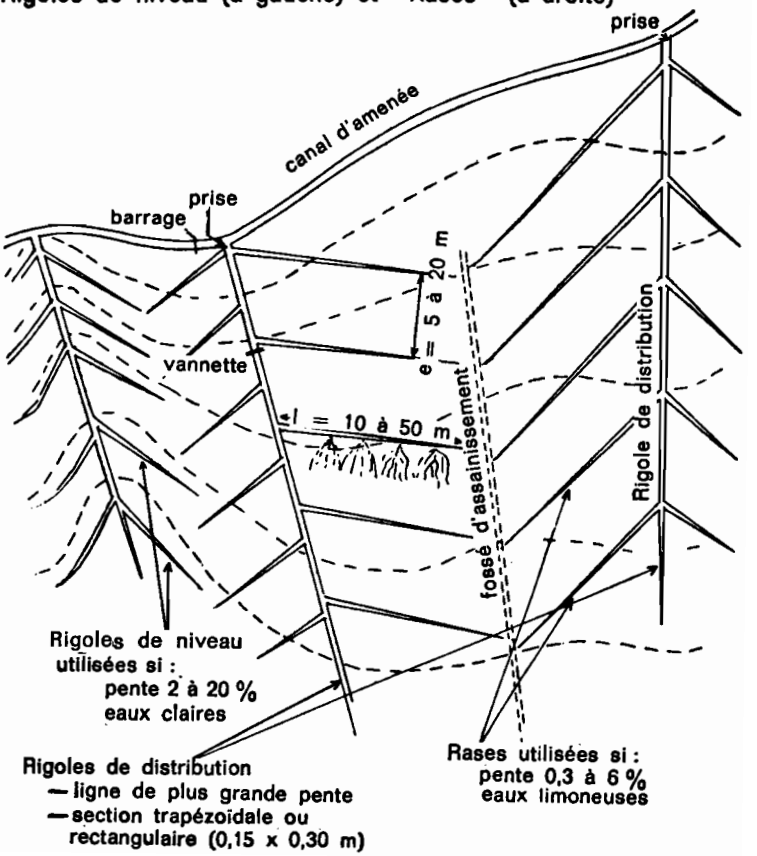
Lorsqu'il y a possibilité de réglage des hauteurs de submersion on peut emblaver des rizières.

6.3. Irrigation par ruissellement ou déversement ou irrigation par rigoles et rases.

Ce mode d'irrigation est la méthode traditionnelle des pays de montagne : pente comprise entre 2 et 25 %, optimum 3 à 5 %. Il consiste simplement à faire déborder l'eau de petites rigoles ou fossés. Les rigoles peuvent suivre les lignes de niveau « rigoles de niveau »; elles peuvent aussi être obliques par rapport aux lignes de niveau sur les terrains de plus faible pente : ce sont alors des « rases ». A part le tracé des rigoles il n'y a **aucun aménagement du terrain important.**

IRRIGATION PAR RUISSELLEMENT

Rigoles de niveau (à gauche) et « Rases » (à droite)



Pratique de l'arrosage.

Le système est très simple; chaque rigole de distribution mise en service alimente, selon les disponibilités, une ou plusieurs rigoles de déversement. La dérivation des eaux se fait à l'aide de vannettes en bois ou en tôle ou par de simples mottes de terre.

6.4. Irrigation à la planche ou au calant.

Description.

L'eau déversée à la partie supérieure du terrain par les bouches d'irrigation ou pertuis ruisselle sur toute la surface de la planche qu'elle humecte au fur et à mesure de sa progression. Entre les diguettes, le terrain doit être parfaitement nivelé; la pente longitudinale et l'écartement des diguettes sont fixés une fois pour toutes, ce qui oblige à utiliser toujours le même module.

A la sortie des pertuis il faut une partie plate pour que l'eau s'étale.

Mode d'aménagement.

Eléments imposés : les planches ne doivent pas avoir de pente transversale; deux planches adjacentes ne doivent pas avoir de dénivelée trop sensible pour éviter les pertes par percolation (15 cm). La pente longitudinale peut aller de 0,15 à 4 %.

Détermination des modules parcellaires et des longueurs des planches : l'abaque de Criddle et Davis (voir p. 219) donne la valeur qo du « module parcellaire unitaire » c'est-à-dire le débit de déversement pour un front de 1 m et une longueur de 100 m), connaissant la dose d'arrosage d, la perméabilité K et la pente p % du terrain.

Si l'on se donne la longueur « L » du calant et la largeur « l » du calant, le module à utiliser Q se déduit immédiatement.

Exemple :

L = 240 m; l = 12 m; pente = 0,5 %.
Perméabilité d'arrosage = 13 mm/heure.
Dose = 75 mm.

Il vient : qo = 1,5 l/s

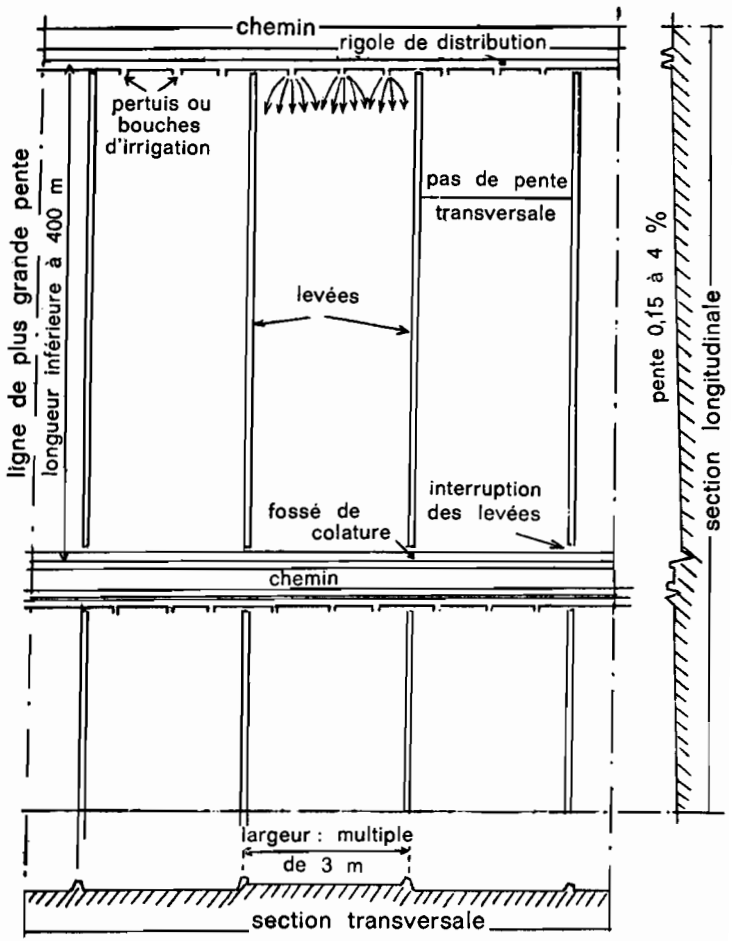
$$\text{soit } Q = 1{,}5 \times \frac{240}{100} \times \frac{12}{1} = 43 \text{ l/s}$$

ou module à déverser sur toute la largeur du calant.

6.5. Irrigation à la raie (ou par sillons).

Une partie seulement du sol, la raie, reçoit directement l'eau qui s'infiltre verticalement et latéralement.

IRRIGATION A LA PLANCHE

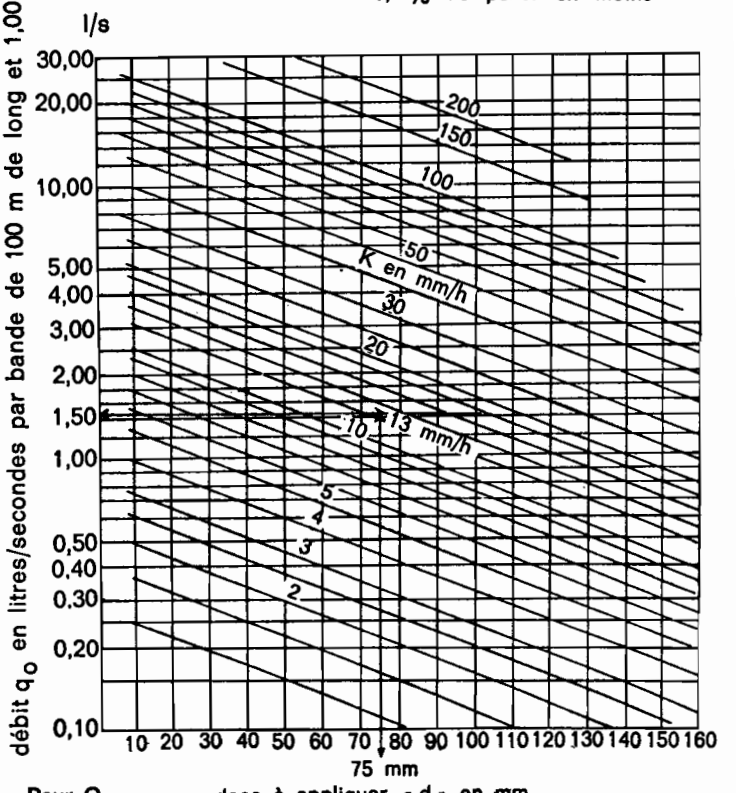


VALEUR DU MODULE PARCELLAIRE UNITAIRE
ABAQUE DE CRIDDLE ET DAVIS

NOTE : Pour les pentes > 0,5 % diminuer q_o de 10 % pour chaque 0,1 % de pente supplémentaire

Pour les pentes < 0,5 % augmenter q_o de 10 % pour chaque 0,1 % de pente en moins

$q_o = f(d, I)$



Cette méthode est applicable aux terrains les plus divers. Le planage doit être soigné; les sillons ne doivent présenter aucune contre-pente qui provoquerait un arrêt de l'écoulement, une stagnation dommageable aux plantes. Les pentes couramment admises sont comprises entre 0,1 % et 1 %.

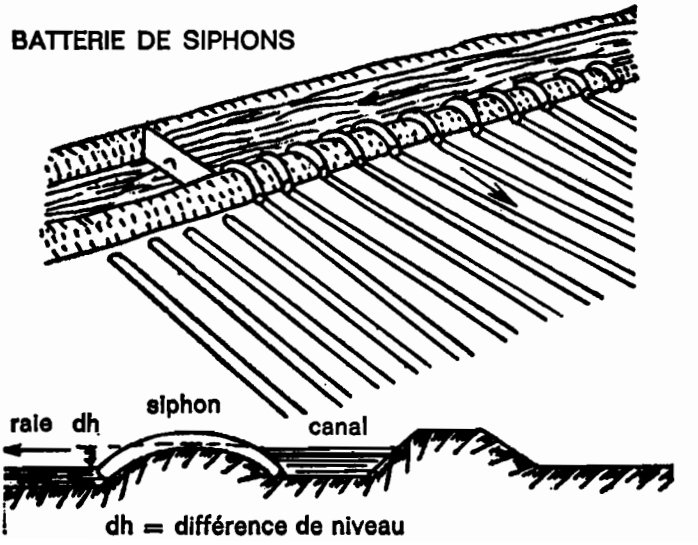
Cette méthode est recommandée pour les cultures en ligne, nécessitant le buttage. Ex. : coton, canne à sucre.

Mode d'arrosage (Cf. tableau des débits et des longueurs en fonction de la nature des sols p. 221).

L'eau est distribuée aux sillons à partir de petits fossés en terre ou de canalisations bétonnées. L'eau est difficile à régler; la précision dans les débits peut être obtenue par l'utilisation de siphons de distribution.

Débit des siphons d'arrosage en m³/heure

Différence de niveau (dh) en mètres	Diamètre du siphon, en millimètres				
	20	26	32	35	50
0,25	2,4	4,1	6,3	7,5	15,3
0,20	2,3	3,9	5,9	7,0	14,3
0,15	1,9	3,2	4,8	5,8	11,8
0,10	1,5	2,6	3,9	4,6	9,4
0,05	1,1	1,8	2,8	3,3	6,7



IRRIGATION A LA RAIE

Débits et longueurs maxima des raies, en fonction de la pente, de la nature du sol et des doses à appliquer

Pente du sol (%)	Débit max. admisaible (l/m)	SOL ARGILEUX						SOL MOYEN					SOL LEGER				SABLE GROSSIER		
		Dose d'application (cm)						Dose d'application (cm)					Dose d'application (cm)				Dose d'application (cm)		
		18	15	13	10	8	5	15	13	10	8	5	13	10	8	5	10	8	5
0,25	150	590	550	500	450	390	320	425	380	350	300	250	230	210	180	150	100	85	70
0,50	75	410	380	350	300	270	220	290	270	240	200	170	160	140	120	100	70	55	45
0,75	50	320	300	270	240	210	175	230	210	190	160	130	130	110	100	85	55	45	40
1,00	38	270	250	240	200	180	140	200	175	160	140	110	110	75	70	55	45	40	30
1,50	26	220	200	180	170	140	110	160	140	130	110	90	85	70	60	45	40	30	
2,00	20	190	175	160	140	120	100	130	120	110	90	75	75	60	55	40	30		
2,50	15	170	150	140	130	110	90	120	110	100	85	70	70	55	45	40			
3,00	13	150	140	130	110	100	85	110	100	90	75	60	60	45	40	30			
4,00	9	130	120	110	100	85	70	90	85	75	60	55	55	40	30				
5,00	7	115	105	100	85	75	60	85	75	70	55	45	45	40	30				
6,00	6	100	90	85	75	70	55	75	70	60	50	40	40	40	30				

6.6. Irrigation par bassins.

Définition.

SI les conditions topographiques ou les nécessités culturales n'autorisent pas une certaine pente (au moins 0,1 %) permettant de faire courir l'eau, on pratique l'irrigation par bassins : les bassins sont remplis périodiquement et c'est de l'eau dormante qui s'infiltre dans le sol. Ce mode d'irrigation s'impose évidemment pour le riz.

Aménagement du terrain.

Le principe fondamental est de disposer le bassin à fond horizontal et de réduire au minimum la dénivelée entre deux compartiments voisins (10 cm au plus).

Vergers.

On établit les bassins le long des courbes de niveau, la plus grande dimension suivant la ligne de niveau, la plus petite selon la ligne de plus grande pente, de telle sorte que la dénivelée entre deux bassins contigus n'excède pas 10 cm.

Surface des bassins			
Nature du sol	Léger	Moyen	Argileux
Perméabilité « K »	dizaines cm/h	quelques cm/h	quelques mm/h
Débit par bassin			
30 l/s	1 00 à 150 m²	200 à 400 m²	500 à 1 000 m²
60 l/s		400 à 800 m²	1 500 à 2 000 m²
120 l/s			3 000 à 5 000 m²

Rizières.

On peut, comme pour les vergers, adopter des bassins suivant les courbes de niveau, mais le plus souvent on leur donnera des formes géométriques (carrées ou rectangulaires) sur un terrain préalablement nivelé. On peut concevoir une alimentation des bassins en cascades les uns par les autres (bassins dépendants), mais le système de bassins indépendants est plus propice à la bonne répartition des eaux d'irrigation et à l'implantation du réseau de colatures des eaux de drainage.

Aménagement des rizières

L'avant-projet est étudié sur un plan préalablement levé au 1/2 000 ou au 1/5 000. Les canaux d'irrigation sont implantés sur les lignes de

crête, les fossés d'assainissement dans les thalwegs, formant ainsi l'ossature du réseau hydraulique.

Il faut particulièrement tenir compte pour la détermination de débits à distribuer de la consommation en eau du riz qui varie avec la saison des cultures, la date de mise en place dans cette saison et le type de sol où elle est pratiquée.

La mise en boue avant repiquage nécessite une irrigation préalable de 1 500 à 2 000 m^3/ha.

Un débit fictif continu de distribution correspondant au mois de pointe de 1 l/s/ha peut être retenu. Ce débit correspond à 86,4 m^3/jour/ha ou à une tranche d'eau de 8,6 mm/jour.

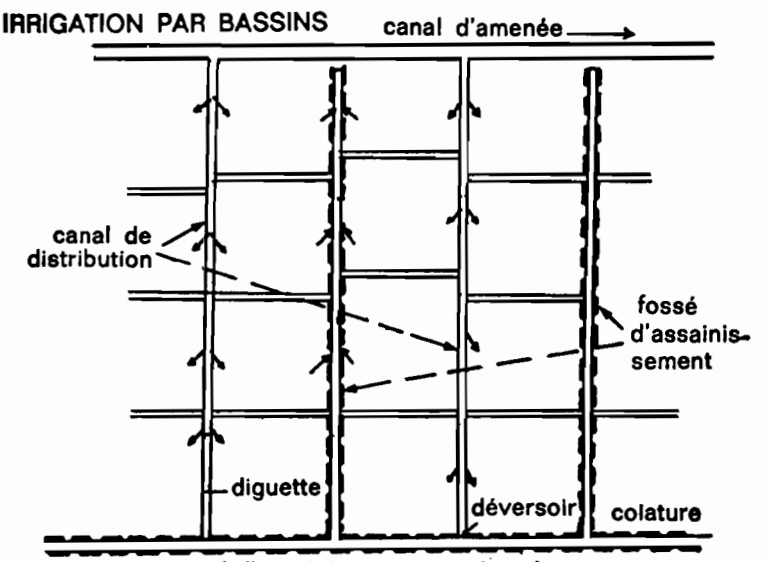
Un plan d'eau de 10 cm est nécessaire pour assurer le développement de la plante ; en admettant des variations possibles du plan d'eau de 40 mm, on constate qu'il suffit d'assurer l'entretien tous les 4 jours.

Les débits permettant de déterminer le dimensionnement des canaux étant définis, il convient de tracer le plan du lotissement.

Le découpage des bassins doit être fait en « collant » le plus possible au terrain de manière à réduire le volume des terrassements.

Le schéma type d'un aménagement de périmètre rizicole comprend généralement :

- une installation d'alimentation : barrage, ouvrage de prise, station de pompage,



- un canal d'amenée en tête morte fonctionnant gravitairement et prolongé par un canal principal qui domine le périmètre à irriguer,
- des canaux secondaires de distribution qui répartissent les débits à distribuer dans les différents quartiers d'irrigations,
- des canaux tertiaires ou arroseurs qui assurent la mise en eau des bassins et la distribution de la dose d'entretien,
- un réseau de canaux de colature disposé symétriquement au réseau d'irrigation, qui assure l'évacuation des eaux excédentaires (eaux météoriques, eaux d'irrigation) et la mise à sec des casiers,
- un réseau de diguettes délimitant les bassins, soit suivant les courbes de niveau, soit suivant des contours géométriques déterminés en fonction de la topographie locale.

Utilisation de l'onde de crue

Des aménagements rizicoles relativement peu coûteux, basés sur l'utilisation de l'onde de crue des fleuves peuvent être réalisés dans des vallées régulièrement inondables pendant une période plus ou moins longue.

Le problème consiste à contrôler l'irruption de la crue dans le périmètre pour que sa montée soit compatible avec les exigences de la croissance du riz et à retarder la décrue afin que la durée de la submersion soit suffisamment longue pour que le riz atteigne le stade de l'épiaison.

Le principe de l'aménagement est le suivant :

— protection contre la crue par une digue (calée à la hauteur de la crue décennale avec une revanche de 0,50 m) encerclant le périmètre rizicultivable,

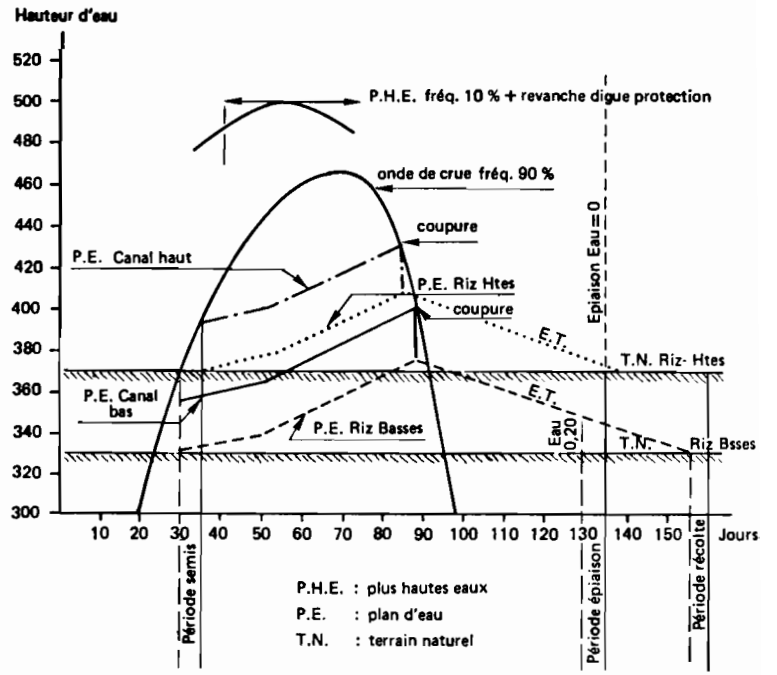
— ménagement dans cette digue d'un ou plusieurs ouvrages régulateurs (à poutrelles ou à crémaillère) permettant de retarder l'entrée de la crue dans les rizières, régler la vitesse ascensionnelle de l'eau (5 cm/jour ou 3 cm/jour, selon les variétés) jusqu'à un niveau calculé à l'avance (atteint à la fréquence de 90 %) et éventuellement retarder la vidange du casier en cas de décrue trop précoce.

Un problème tout aussi important consiste à déterminer les variétés de riz adaptées à ce type d'aménagement.

En effet, les riz sont semés quand les pluies sont établies et poussent dans un premier temps comme un riz pluvial. Leur alimentation en eau est ensuite assurée par la crue qui arrive dans les casiers alors que les pluies s'atténuent; les riz se comportent à ce moment comme des plantes véritablement aquatiques, allongeant leur tige pour suivre la montée de l'eau.

Les différentes variétés sont ensemencées dans des franges délimitées grossièrement par des courbes de niveau, les hauteurs d'eau utiles varient à la fin du remplissage de 1,80 m (zones basses) à 0,15 m (zones hautes).

Les périmètres doivent être équipés de réseaux de vidange pour les rizières basses.



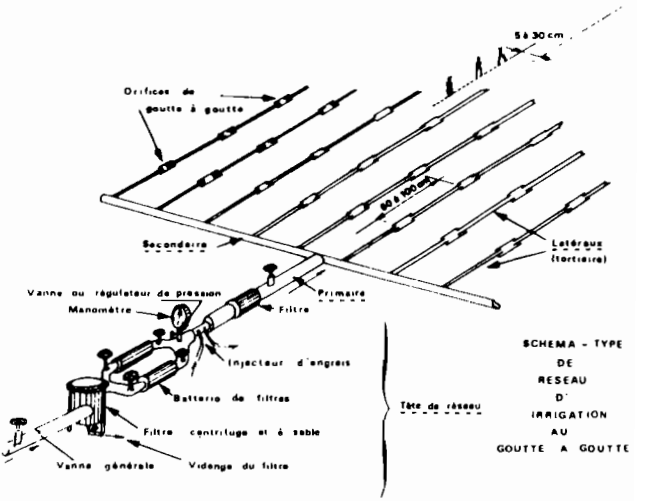
Dans cet exemple, la frange rizicultivable pourrait être augmentée si la variété « Haut » avait un cycle végétatif plus court (110 jours au lieu de 130).

6.7. Irrigation au goutte à goutte

Ces nouveaux systèmes développés dans les zones arides afin d'économiser l'eau consistent à apporter, avec un débit très faible (2 à 8 l/h) l'eau au niveau des racines à partir d'un émetteur situé sur le sol (ou légèrement en dessous).

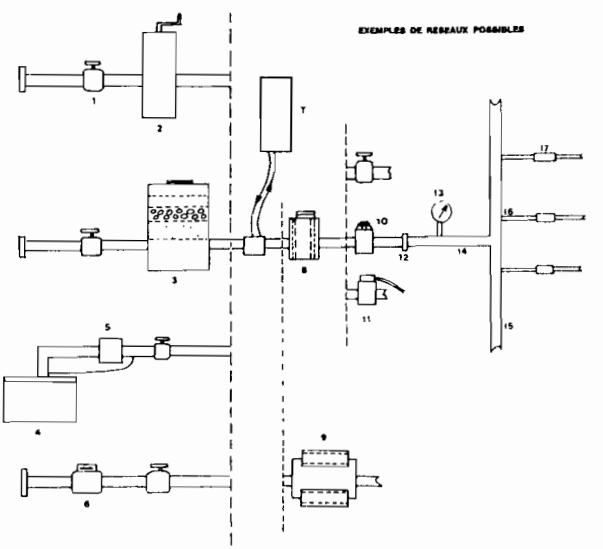
Il existe de nombreux types d'émetteurs ou de « goutteurs », (trous de 0,3 mm, capillaires, à pas de vis, à cyclônes, etc), mais les résultats les plus intéressants semblent être obtenus avec ceux comportant des chicanes (perte de charge par turbulences, moins sensibles aux obstructions et aux variations de pression). Néanmoins, les faibles sections de passage de l'eau nécessitent un système de filtration sérieux et une surveillance constante du réseau. Des nettoyages anti-dépôts (concrétions calcaires, algues) sont à effectuer, à l'intérieur et à l'extérieur des goutteurs.

Les possibilités d'automatisation complète, ainsi que les résultats intéressants obtenus en utilisation d'eau chargée de sels méritent de retenir ce système pour les cultures économiquement très rentables (tabac, cultures maraîchères), compte tenu des investissements élevés.



SCHEMA - TYPE DE RESEAU D'IRRIGATION AU GOUTTE A GOUTTE

EXEMPLES DE RESEAUX POSSIBLES



1 — Vanne.
2 — Filtre auto-nettoyant
3 — Filtre à couches sableuses (sable, gravier) avec ou sans système centrifuge. } pour eaux chargées
4. — Filtre auto-nettoyant à l'aspiration.
5 — Pompe
6 — Compteur (eau pure).
7 — Injecteur d'engrais.
8 — Filtre à manchons coaxiaux.
9. — Batterie de manchons coaxiaux
10. — Vanne volumétrique.
11 — Vanne à commande hydraulique ou pneumatique (éventuellement associée à 10)
12 — Régulateur de débit
13. — Manomètre de contrôle
14 — Conduite primaire
15. — Conduite secondaire.
16. — Tertiaire (ou latéral).
17 — Goutteur

6.8. Arrosage localisé par rampes perforées fixes

Un nouveau procédé d'irrigation a été mis au point en 1968 par les techniciens de la Compagnie Nationale pour l'Aménagement du Bas-Rhône et du Languedoc.

Le dispositif consiste en une rampe débitant dans les rigoles creusées dans le sol parallèlement aux rangées de plantations. Elle est immobilisée au fond de la rigole par des petits barrages de terre qui délimitent autant de biefs que la rampe comporte de perforations. Chaque perforation porte un ajutage calibré équipé d'un brise jet.

La rampe est constituée d'un tuyau de polyéthylène noir 23×25 mm. Les ajutages calibrés sont espacés d'environ 5 m.

Le diamètre des orifices d'écoulement peut varier de 1,6 à 2,1 mm.

Le débit délivré est uniforme sur toute sa longueur et peut être ajusté en fonction du type de sol de 2 à 4 centimètres cube par mètre.

Alimentée sous faible pression (0,8 à 1,3 bar) cette rampe peut délivrer son débit sur près de 200 m. de part et d'autre d'une antenne centrale.

Cette méthode d'irrigation convient particulièrement bien pour les vergers et la vigne. Elle est en cours d'expérimentation pour les cultures maraîchères.

Le procédé présente les caractères favorables du système dit « goutte à goutte » et permet comme ce procédé, le contrôle étroit de l'économie de l'eau qu'autorisent la localisation et le fractionnement. Il en évite l'écueil essentiel : le nombre et la fragilité des orifices, les précautions et l'étroite surveillance qu'ils impliquent.

L'automatisation du réseau peut rendre le procédé plus performant. Elle consiste en l'utilisation de commande automatique pour l'ouverture des vannes volumétriques.

Les principales méthodes utilisées sont les suivantes :

6.8.1. AUTOMATISATION PARTIELLE

Le contrôle des volumes est bien adapté au système. Le moyen le plus simple en est l'utilisation de vannes volumétriques à fermeture automatique. On peut les placer en tête de chaque poste, ou seulement en placer une seule en tête de la parcelle, avec des vannes à main à chaque poste. Les vannes volumétriques nécessitent une ouverture et un affichage manuels mais elles se ferment automatiquement.

Leur utilisation n'implique pas un ordre séquentiel déterminé. Le volume d'eau étant mesuré, il suffit d'assurer une régulation grossière de la pression au niveau des vannes.

6.8.2. AUTOMATICITE INTEGRALE

On peut l'assurer à l'aide d'un programmateur fonctionnant sur la base du temps ou du volume, ou commandé par une sonde mesurant l'humidité du sol.

● Temps ou volume

Un tableau électrique de commande des vannes hydrauliques ou électriques assure les séquences pour un nombre quelconque de cycles.

L'ordre de marche n'est pas imposé. On peut le modifier d'un cycle à l'autre ainsi que le volume ou le temps de fonctionnement.

Au lieu d'avoir un démarrage prédéterminé, on peut aussi l'assurer à partir d'un évaporomètre pilote, le bac classe A par exemple.

● **Humidité du sol**

On peut commander aussi bien la fermeture que l'ouverture des vannes à l'aide de sondes d'humidité placées dans la zone radiculaire. La sonde est généralement constituée par un tensiomètre qui pilote directement une vanne hydraulique placée en tête de chaque poste.

L'ordre de marche entre les postes n'est pas fixé a priori, puisque chaque vanne fonctionne automatiquement et indépendamment des autres vannes. Aussi, en cas de commande d'ouverture simultanée d'un nombre de postes supérieur à celui pour lequel les conduites ont été calculées, faut-il centraliser les commandes pour pouvoir réaliser une temporisation des ouvertures dans la limite du nombre maximum possible.

Ce mode de pilotage automatique ne s'est pas encore généralisé en raison d'une part de difficultés techniques, d'autre part de l'inégalité des humidités ponctuelles du sol.

6.9. Irrigation par aspersion

Consiste à distribuer l'eau sous forme de pluie sur le sol à l'aide d'asperseurs alimentés par des canalisations sous pression.

Avantages et inconvénients de la méthode.

● **Avantages :**

— Ne nécessite aucun aménagement préalable du terrain;
— Peut être employée quelle que soit la nature du sol;
— Réalise une certaine économie d'eau.

● **Inconvénient :**

— Peut nécessiter des dépenses importantes de premier établissement et d'exploitation (énergie, entretien du matériel).

Matériel.

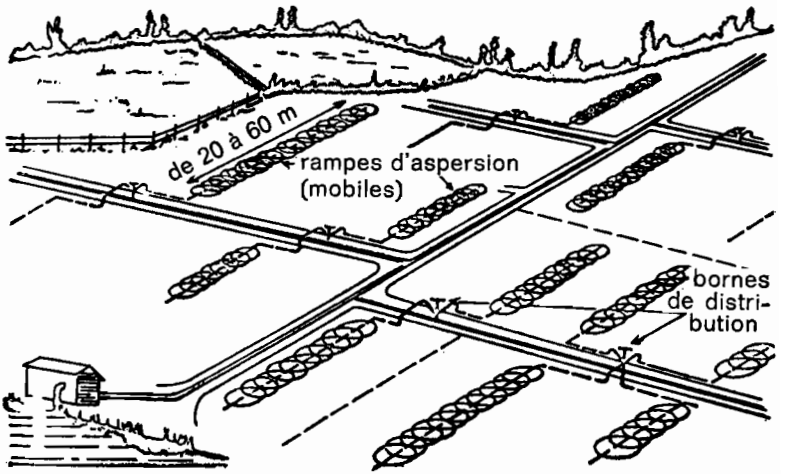
Les installations peuvent être fixes ou mobiles et comprennent le matériel suivant :

— Un dispositif de pompage (Cf. chapitre XI « Machinisme agricole »);
— Des conduites sous pression qui distribuent l'eau en tous les points utiles de la surface à arroser et qui alimentent les appareils de répartition;
— Des appareils qui projettent et répartissent l'eau sur le sol (asperseurs-sprinklers).

Pratique de l'irrigation par aspersion.

On administre au sol la dose pratique précédemment calculée (D' en millimètres).

IRRIGATION PAR ASPERSION



Chaque appareil d'arrosage fonctionne avec des caractéristiques de débit et de portée, donc de surface arrosée, bien définies.

En général, la « densité d'aspersion » sera comprise entre 2 et 20 mm/h. Pour les terres compactes il faudra diminuer en dessous de 2 mm/h et pour les terres très perméables on pourra atteindre des débits de 80 mm/h.

Nature du sol	Vitesse d'arrosage
Sable	50 mm/heure
Limon sableux	25 mm/heure
Limon	15 mm/heure
Argile	5 mm/heure

Les appareils d'usage courant ont des débits variant de 3 à 20 l/s, chacun pouvant ainsi arroser de 5 à 50 ares. Certains appareils plus puissants assurent avec un débit de 50 l/s une densité d'aspersion de 10 mm/h.

Parmi les appareils on peut citer :

— les rampes d'arrosage;
— les tourniquets hydrauliques dont la portée peut atteindre 12 m;
— les appareils à jet unique :
  — les Sprinklers arrosant un secteur de 6 à 20 m de rayon (pression 2 à 4 kg/cm²);
  — les lances d'arrosage fonctionnant sous plus forte pression (3 à 12 kg) et projetant l'eau jusqu'à 80 ou même 120 m.

L'espacement des points d'émission doit être d'environ 55 à 60 % du diamètre battu par un asperseur. La disposition en quinconce sera donc préférable.

Exemple d'emploi d'un canon d'arrosage :

— 1 arrosage par quinzaine; dose : 30 mm; débit d'un canon : 20 m³/h; pression : 4 kg/cm²; longueur du jet : 25 m; surface théorique arrosée : 1 962 m², pratiquement 1 600 m² environ avec stations disposées aux sommets de triangles équilatéraux.

— Nombre de stations : 10 000 : 1 600 = 6/ha.

— Durée d'arrosage par station $\frac{30 \text{ mm}}{12 \text{ mm/h}} = 2$ h 30, pratiquement 3 heures avec les manœuvres.

En effet, $\frac{20 \text{ m}^3/\text{h}}{1\,600 \text{ m}^2} \neq 12$ mm/h. Pour arroser 1 ha il faudra donc 18 heures.

7. LE PLANAGE

Le planage est généralement nécessaire pour aménager des terrains arrosés par les ruissellements (planche-raies) ou par submersion (bassin). Dans le premier cas il s'agit de donner aux planches des pentes toujours descendantes comprises entre les limites inférieures permettant l'écoulement (0,5 à 1 ‰) et des limites supérieures ne provoquant pas des vitesses érosives (8 à 15 ‰). Dans le second cas, et notamment pour les rizières, il s'agit de créer une série de plans horizontaux.

Le levé topographique est effectué à l'échelle de 1/1 000 selon un carroyage de 10-10 ou 20-20 m avec la précision du centimètre.

Pour les bassins horizontaux, la cote du plan unique des altitudes à réaliser est égale à la moyenne arithmétique des altitudes levées du clos considéré. Toutefois, il est bon de se réserver un excédent de déblais de l'ordre de 20 à 25 %.

Pour les planches avec pentes, l'étude du projet, comme son exécution matérielle, s'effectuera par bandes de 10 à 20 m de largeur (raies), ou d'une largeur égale à celle des planches s'il s'agit de cette méthode.

La méthode la plus simple consiste à éliminer toute contrepente, c'est-à-dire : araser les bosses et combler les dépressions. Il est parfaitement admissible de changer de pente dans l'axe longitudinal des planches de façon à mieux s'adapter au terrain et éviter des décapages ou remblais excessifs. La compensation déblais-remblais se fait à 20-25 % près avec un excédent des premiers.

Aux engins mécaniques (décapeuse et niveleuse) une précision d'exécution de $\pm$ 0,02 m doit être assurée sans difficultés.

8. STATIONS DE POMPAGE

L'évolution de la technologie conduit de plus en plus à l'utilisation du pompage pour assurer l'alimentation des réseaux qu'ils soient gravitaires ou sous pression.

CHIFFRES MOYENS DE PERTE DE CHARGE

(en m par m de canalisation supposée en bon état)

Débit		Diamètre intérieur (mm)													
m³/h	l/s	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	110	125	150
1	0,28	0,06	0,02	0,01											
1,5	0,42	0,13	0,04	0,02	0,01										
2	0,55	0,23	0,08	0,03	0,02	0,01									
3	0,83	0,50	0,16	0,07	0,03	0,02									
4	1,11		0,30	0,12	0,07	0,03	0,01								
5	1,38			0,20	0,09	0,05	0,02	0,01							
6	1,66			0,28	0,13	0,07	0,02	0,01							
7	1,93				0,17	0,09	0,03	0,01	0,01						
8	2,21				0,22	0,12	0,04	0,02	0,01						
9	2,50					0,15	0,05	0,02	0,01	0,01					
10	2,76					0,18	0,06	0,03	0,01	0,01					
15	4,16						0,14	0,06	0,03	0,01	0,01				
20	5,55						0,25	0,10	0,05	0,02	0,01	0,01			
25	6,93							0,15	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01		
30	8,33							0,22	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	
40	11,10								0,18	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01	
50	13,88									0,15	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01

Un coude ou un clapet sera compté pour 5 m de la conduite de diamètre correspondant.

En première approximation, pour une installation simple, il suffira de majorer de 15 % la hauteur géométrique d'élévation.

La mise en œuvre de tels réseaux nécessite l'installation de stations de pompage qui abritent :

- les groupes moto-pompes,
- la tuyauterie (aspiration, refoulement, collecteur général),
- la robinetterie (vannes, clapets),
- l'appareillage anti-bélier,
- éventuellement l'équipement électrique et de régulation.

Ces stations peuvent revêtir des aspects très divers et leur implantation peut être la suivante :

- station construite au sec, les pompes et les moteurs étant situés au-dessus des plus hautes eaux,
- station comportant un cuvelage descendu au-dessous des plus basses eaux dans lequel est installé la pompe ; le moteur est par contre maintenu au-dessus du plan d'eau maximal.

La mise en place de telles stations nécessite l'intervention de techniciens spécialisés.

Par contre, il est possible d'utiliser de petits groupes moto-pompes de débits compris entre 5 et 100 m^3/h pour l'irrigation de petites exploitations agricoles sans aménagement particulier.

Les éléments permettant le choix d'une pompe et les données nécessaires à son installation, figurent aux paragraphes **2** et **4** du présent chapitre.

Les renseignements à fournir en vue d'une étude d'installation d'une pompe sont :

— Nature du liquide à pomper (eau boueuse, chargée, etc.);
— Débit demandé et régime d'emploi;
— Hauteur géométrique totale d'élévation (à partir des plus basses eaux), avec hauteur d'aspiration et de refoulement;
— Diamètre et profondeur du puits ou forage;
— Amplitudes maximales des variations du niveau de l'eau;
— Longueur et nombre des courbes des tuyauteries d'aspiration et de refoulement, éventuellement nature et diamètre intérieur du matériel existant;
— Eventuellement caractéristiques du moteur et du mode d'accouplement;
— S'il s'agit d'un moteur électrique : caractéristiques du courant (voltage, fréquence, nombre de phases).

9. UTILISATION DE L'EAU

La distribution de l'eau dans un réseau d'irrigation met en jeu des facteurs agronomiques (développement optimal de la végétation) et techniques (moyens matériels mis en œuvre), mais l'utilisation de l'eau proprement dite fait intervenir des facteurs économiques et humains qui influent considérablement sur le choix des méthodes de distribution (continue, par rotation ou à la demande).

La distribution par rotation est utilisée lorsque la surface irriguée par chaque exploitant est trop faible pour bénéficier d'une émission d'eau continue, le « tour d'eau » devient alors indispensable et consiste à donner à des intervalles de temps prédéterminés des doses d'arrosage, également définies à l'avance, à l'ensemble des usagers.

Le « tour d'eau » est une « prévision ». On peut prévoir les besoins moyens d'une culture sur une période de temps relativement longue (un mois ou une décade) par analogie avec ce qui se passe dans d'autres périmètres voisins ou par application d'une formule d'évapotranspiration.

L'expression des besoins et des conditions d'administration de l'eau est la suivante :

— « B » : besoins volumétriques mensuels par unité de surface
— « q » : débit continu qui permettrait de satisfaire à ces besoins en l/s/ha
— « A » : volume de la dose unitaire à appliquer (fonction de la profondeur de la zone à humidifier et de la capacité de rétention)
— « N » : nombre d'interventions dans le mois considéré : $N = \frac{B}{A}$
— « T » : intervalle de temps séparant deux arrosages successifs sur le même terrain :

$$T = \frac{31 \text{ (ou } 30 \text{ j)}}{N}$$

— « t » : temps de délivrance du module
— « m » : module ou débit effectivement livré à l'usager
— « S » : surface irriguée par ce dernier à chaque tour.

Le **volume dû** soit : BS = N.q.S.T. dans le mois ou pour chaque arrosage,

$$\frac{B}{N}.S = q.S.T$$

soit

$$A.S = q.S.T$$

Le **volume livré** soit : m.t. doit être égal au volume dû, soit :

$$q.S.T = m.t$$

Le module est indépendant de la surface pour toute surface « S » telle que : S.q. $<$ m

Le temps de délivrance de l'eau à l'unité de surface qui servira à établir le tour d'eau sera :

$$t = \frac{q.T}{m}$$

Les **éléments fixes** du tour d'eau sont :

— les besoins par hectare exprimés par « q »
— la rotation « T »
— le module « m »

L'élément variable est la durée d'administration de l'eau en fonction de la surface « S » de chaque parcelle intéressée.

Le tour d'eau à module fixe :

Le système le plus classique consiste à adopter sur l'ensemble du réseau un module « ne varietur ». C'est là s'assurer de la répartition la plus « égalitaire » possible. C'est, en outre, un moyen de simplification de l'établissement des horaires d'arrosage et d'unification de tous les réglages des prises de distribution.

En fait, ce système n'est pas sans présenter certains inconvénients

Tout canal irrigant une surface « S » telle que :

$$Sq \neq n.m \text{ où } « n » \text{ est égal à un nombre entier}$$

ne pourra être maintenue constamment en eau. Son fonctionnement sera discontinu.

Le temps de fonctionnement du canal sera T_1 tel que : $n.m.T_1 = S.q.T$ avec la condition : $n.m \geqslant S.q$

La répartition des eaux entre les différents canaux de distribution nécessite une série de calculs :

— pour déterminer le nombre total de modules dont il faut disposer pour un secteur déterminé,
— pour reporter les « restes » dans tels ou tels distributeurs.

Une première règle à suivre est de s'efforcer d'avoir le plus de modules en service continu pendant la durée T_1 dans chacun des ouvrages concernés pour déplacer le plus petit nombre possible d'unités de débit (« module ») d'un canal à l'autre.

Lorsque l'eau doit être économisée on utilisera le tour d'eau à module fixe et rotations variables en jouant sur la durée de la rotation en cherchant à suivre au plus près les besoins,

Pendant la période des arrosages intensifs on pourra utiliser le tour d'eau à module variable et rotations inégales.

10. EXPLOITATION DES PERIMETRES AMENAGES

L'exploitation d'un périmètre aménagé entraîne des problèmes annexes, créateurs de contraintes pour l'utilisateur.

En raison de la nécessité de rechercher l'investissement minimum et la meilleure utilisation de l'eau possible en fonction des disponibilités, il est nécessaire d'organiser la distribution de l'eau d'irrigation.

Pour ce faire, l'irrigant doit se plier à une certaine discipline, tant du point de vue exploitation de sa parcelle que du point de vue arrosage.

Les contraintes les plus importantes sont les suivantes :

— respect des dates de semis par quartier d'irrigation,
— utilisation de l'eau conformément au tour d'eau,
— entretien des équipements.

Pour résoudre ces différents problèmes il est le plus souvent nécessaire de créer un organisme de type « association syndicale »

qui est destiné à assurer la gestion tant administrative que technique du périmètre aménagé.

Cette assemblée regroupant tous les irrigants du périmètre est représentée par un bureau comprenant des membres élus et des membres de droit (représentants des Services Administratifs).

Le bureau ainsi constitué doit établir un cahier des charges précisant les conditions d'exploitation et d'entretien des équipements par les membres de l'association. Après approbation par l'Assemblée générale des Irrigants, cette charte doit concourir à la réussite de l'opération.

Par allleurs, il est nécessaire de former les agriculteurs à la technique de l'irrigation souvent nouvelle pour eux et de prévoir l'encadrement technique suffisant pour assurer le bon fonctionnement de l'aménagement.

La pérennité des installations ne peut être assurée que par un entretien annuel du réseau et des ouvrages.

Les travaux d'entretien concernant les ouvrages et les canaux primaires et secondaires sont dans la majorité des cas à la charge de l'« association », les petits travaux d'entretien (curage, reprofilage des canaux terminaux de distribution) sont exécutés par les utilisateurs, et ne demandent, en général, que quelques journées de travail annuel à l'hectare.

Les frais d'entretien sont d'environ 0,8 % des frais de premier établissement pour des projets de moyenne importance (200 à 1 000 ha).

Travaux manuels

— **Faucardage**

Rendements moyens (en zone méditerranéenne)

	Largeur du plafond	Hauteur d'eau	Rendement
Petit canal	1 m	(à sec)	1 000 m³/Jt
Canal moyen	5 m	0,60 m d'eau	800 m³/Jt
Grand canal	10 m	2,00 m d'eau	A la chaîne faucard : 2 000 m³/Jt

— **Curages**, 5-6 m³ de vase par journée de travail à jet de pelle.

Pour l'entretien de canaux et surtout des drains, on emploie de plus en plus les désherbants chimiques :

- 10 kg de 2-4 D contre carex et typha,
- 20-25 kg/ha de TCA contre graminées vivaces.

Les facteurs de la réussite

La réussite de la mise en valeur d'un périmètre irrigué est conditionnée par deux éléments fondamentaux :

- la nécessité de sensibiliser la population avant l'aménagement,
- la nécessité d'une réorganisation foncière du périmètre.

Même si les conditions techniques sont satisfaisantes, elles ne suffisent pas à assurer le succès d'une telle opération. Il faut y ajouter un élément psychologique : l'agriculteur doit être informé, instruit et convaincu de l'intérêt de l'irrigation.

Pour obtenir une participation sans réserve de la population intéressée aux travaux d'aménagement du terrain et à sa mise en valeur, l'encadrement doit être mis en place préalablement pour sensibiliser les paysans. Ils doivent être principalement informés des avantages de l'irrigation, de l'organisation des travaux et des structures de gestion, ainsi que de leur place au sein du dispositif.

Les agriculteurs ainsi sensibilisés pourront participer pleinement à l'opération, à condition qu'une réorganisation foncière leur assure, en fonction du mode de « faire valoir » qu'elle définira, la sécurité de la jouissance d'une parcelle sur laquelle ils seront appelés à investir (aménagement de détail).

Il est donc souhaitable qu'une réorganisation foncière soit envisagée en l'adaptant au régime foncier local en vigueur.

Les parcelles étant attribuées légalement, les difficultés inhérentes à la réalisation de l'aménagement à la parcelle qui incombe aux irrigants, doivent disparaître.

Gestion des périmètres irrigués

A chaque type de périmètre correspondent des structures et des modes de gestion différents.

Le classement des périmètres est fait à partir des caractères particuliers suivants :

- taille du périmètre,
- contraintes climatiques,
- type de produit,
- type d'infrastructure (irrigation gravitaire ou par aspersion),
- restructuration foncière ou non.

Les fonctions essentielles de la structure de gestion sont :

- la récupération des investissements,
- l'entretien des infrastructures hydrauliques,
- le fonctionnement du dispositif (encadrement, commercialisation, crédit...)
- la réalisation d'investissements supplémentaires,
- la transformation de la production agricole du périmètre.

Dans la majorité des cas la structure de gestion est de type structure « coopérative » et les points les plus importants de son action sont :

- la détermination des redevances,
- la récupération des redevances,
- l'entretien du réseau,
  - — entretien à la charge de l'Etat,
  - — entretien à la charge de la structure,
  - — entretien à la charge de l'irrigant.

II

ASSAINISSEMENT

1. NOTIONS GENERALES

1.1. Inconvénients des sols humides.

Les sols humides sont imperméables à l'air : le sol est le siège de phénomènes biologiques intenses qui ne se produisent que si la quantité d'oxygène qu'il contient est suffisante; lorsque la quantité d'eau contenue dans le sol est trop importante, la circulation de l'air devient impossible.

Les sols humides sont difficiles à travailler.

Ils s'opposent à la pénétration des racines, et les plantes sont atteintes de maladies : les racines pourrissent, soit en atteignant le niveau de la nappe souterraine, soit sous l'action de champignons parasites.

1.2. Assainissement agricole.

Classification des différentes techniques d'assainissement :

— Aménagement des émissaires : les émissaires constituent l'exutoire des réseaux de drainage. Ils sont constitués soit par une rivière naturelle, soit par un canal artificiel. Ils sont calibrés et profilés et évacuent les eaux excédentaires hors du périmètre.

— Assèchement : opération à effectuer sur des zones à l'intérieur desquelles les durées de submersion interdisent toute mise en culture (marais).

— Drainage : technique englobant tous les travaux ayant pour objet l'évacuation intensive dans des délais déterminés et courts des eaux excédentaires.

Effets de l'assainissement des terres, principaux avantages du drainage.

Le drainage :

— aère le sol,

— modifie la constitution physique des terres,

— favorise la nitrification,

— permet aux terres argileuses de mieux résister à la sécheresse,

— assure une pénétration plus profonde des racines,
— facilite la culture du sol,
— amène la disparition des plantes adventices et des maladies cryptogamiques.

2. BASES DU CALCUL DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT

2.1. Assainissement des parcelles

Les données suivantes :
— durée admissible de submersion des cultures,
— niveau optimal de la nappe,
— pluviométrie de la région,
permettent de calculer les débits (débit unitaire des parcelles, débits des collecteurs et émissaires).

Hauteur optimale de la nappe :

Le ressuyage du sol qui doit recevoir les racines des plantes est indispensable pour obtenir un bon rendement.

Une inondation permanente du sol conduit à la formation de marais, donc à une humidité excessive qui réduit l'aération du sol et les processus d'oxydation; un assainissement trop poussé devient néfaste car il diminue la quantité d'eau fournie aux plantes par ascension capillaire. Il y a donc, pour une plante donnée, un niveau optimal de la nappe lui permettant le meilleur développement (varie en fonction de la profondeur des racines).

Durée admissible de submersion des cultures :

Il faut se fixer, en fonction des limites de submersion admises pour chaque plante, une certaine durée Θ de submersion acceptable. La durée de submersion Θ ne sera dépassée en moyenne qu'une seule fois pendant la période de retour U qui pourra être de 1 an, 5 ans ou 10 ans. Pour une période de retour de 10 ans, l'émissaire devra assurer l'évacuation de la crue décennale.

Pluie critique, débit caractéristique :

Le réseau de drainage doit être calculé de façon à pouvoir évacuer la pluie critique dont la durée « t » est égale à la durée « Θ » de submersion et dont la périodicité moyenne de retour est égale à U.

Le débit par unité de surface à évacuer de la parcelle est fonction de l'intensité « I » de la pluie critique. Il est appelé débit caractéristique (qc) du réseau. Il est donné par la formule suivante :

$$qc\ (l/s/ha) = \frac{I - e - é}{0{,}36} \times i_c\ (mm/h)$$

avec :
qc = débit caractéristique en litres par seconde et par hectare,
e = coefficient d'évaporation,
i_c = intensité de la pluie critique (durée $t = \Theta$, fréquence U) en millimètres par heure,
é = coefficient d'infiltration en cas de réseau par fossés.

2.2. Assainissement des bassins, calcul de l'émissaire

Définitions :

On utilise les résultats des études pluviométriques de l'ORSTOM pour déterminer la pluie maximale pendant la période donnant le débit maximum dans les drains.

Coefficient udométrique :

— Coefficient de ruissellement (r) : pourcentage de la quantité d'eau qui ruisselle par rapport au volume total de la précipitation.
— Coefficient udométrique : débit spécifique de crue par unité de surface de bassin versant :

$$qc\ (l/s) = \frac{r}{0{,}36} \times I_e\ (mm/h)$$

3. DRAINAGE PAR FOSSES OUVERTS

Le drainage des terres par fossés consiste à ouvrir sur les parcelles à assainir des fossés-drains superficiels se déversant dans des fossés collecteurs qui acheminent l'eau vers un émissaire.

Il existe deux sortes de réseaux :

— réseau régulier : la zone à drainer est couverte d'un canevas de fossés, régulièrement écartés et orientés,
— réseau irrégulier : les fossés ne sont placés que dans les endroits où l'eau a naturellement tendance à venir se rassembler. Leur tracé est d'allure irrégulière.

3.1. Les ouvrages de ceinture

Les ouvrages de ceinture ont pour but d'empêcher les eaux de ruissellement de pénétrer dans la zone qu'il s'agit d'assainir et aussi de réduire les dimensions des fossés du système intérieur.

Le canal de ceinture devra évacuer les eaux superficielles et les eaux de la nappe souterraine. Sa pente doit être régulière et ne pas être trop faible à l'aval pour éviter des dépôts. Sa section sera trapézoïdale. Une revanche minimum de 0,20 devra être ménagée. (Voir Mémento de l'Adjoint technique des travaux ruraux).

3.2. Les drains ou « petits fossés »

Le drain recueille l'eau en excès des terres à assainir et la conduit aux collecteurs.

Ces fossés doivent être dirigés transversalement à la plus grande pente avec une légère inclinaison sur les lignes de niveau.

Ecartement des fossés :

C'est une distance variable dépendant de plusieurs facteurs (évacuation des eaux superficielles, évacuation des eaux souterraines).

L'écartement des fossés pourra être calculé à partir de formules semi-empiriques du type de celle de Kostiakov :

$$E \text{ (mètres)} = \frac{78}{\gamma} d\, I\, T^2 \sqrt{I}$$

dans laquelle :

E : est l'écartement des drains fossés,
γ : le « coefficient de rugosité » de la parcelle,
d : le « coefficient d'écoulement» de la parcelle,
I : l'intensité en mm/h des précipitations,
T : la durée, en jours, de submersion admissible,
I : la pente du terrain à drainer.

VALEURS DU COEFFICIENT DE RUGOSITE

Nature de la parcelle	Coefficient
Champ cultivé	1 à 5
Prairie marécageuse	5 à 10
Tourbière	10 à 15

VALEURS DU COEFFICIENT D'ECOULEMENT

Pente et nature du sol	Coefficient d
Pente régulière (ruissellement facile)	0,3 à 0,4
Pente régulière (ruissellement médiocre)	0,4 à 0,5
Pente boisée (faiblement ruisselante)	0,65 à 0,8

La largeur au plafond ne doit pas être inférieure à 0,30 m.

3.3. Les fossés de colature

Ils sont destinés à évacuer, dans des délais déterminés, les eaux excédentaires superficielles.
Le réseau de colature est symétrique du réseau d'irrigation.
Il est utilisé quand un drainage profond n'est pas nécessaire.

La colature d'un périmètre rizicole s'effectue de la manière suivante :

- les fossés de colature disposés parallèlement aux canaux d'alimentation des bassins assurent la vidange et l'évacuation des eaux excédentaires de chaque bassin,
- les fossés de colature se déversent dans les collecteurs secondaires disposés parallèlement aux canaux d'irrigation secondaires assurant ainsi l'évacuation des eaux excédentaires du quartier d'irrigation,
- les collecteurs secondaires se déversent dans le collecteur principal qui véhicule les eaux de colature jusqu'aux exutoires naturels.

3.4. Les collecteurs

Collecteurs secondaires :

Ils sont destinés à recueillir et réunir les eaux vers le collecteur principal; ils suivent les thalwegs de second ordre. La section est de forme trapézoïdale et calculée par les procédés classiques. L'inclinaison des parois est la suivante :

Nature du terrain	Base	Hauteur
Terre franche	1 à 1,25	1
Terre légère	1,50	1
Terre sablonneuse	2,00	1

Collecteur principal :

Il est destiné à rassembler les eaux des collecteurs secondaires et à les amener au point bas du périmètre à assainir. Son tracé suit le thalweg principal de la zone à drainer; le plus souvent, il emprunte le lit d'un cours d'eau qu'il s'agit de rectifier, curer et calibrer. Le collecteur principal débouche soit directement dans l'émissaire, soit dans un bassin régulateur en cas d'élévation mécanique.

3.5. Entretien des cours d'eau et émissaires

Curage :

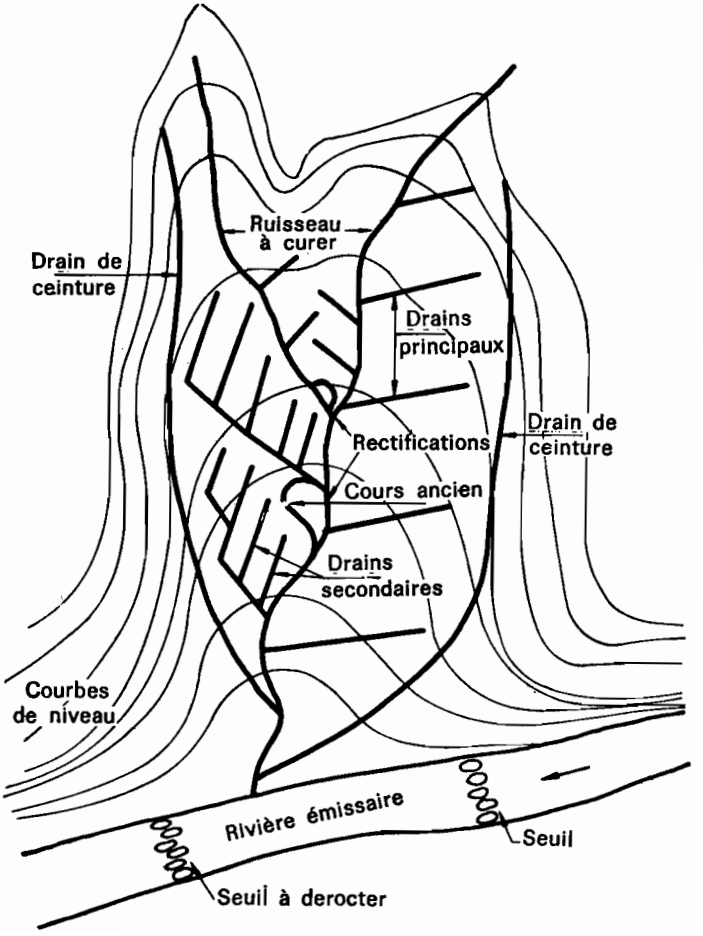
Opération qui consiste de temps en temps à nettoyer et à remettre aux dimensions initiales les rivières et les émissaires.

Elle peut être exécutée soit manuellement, soit mécaniquement à l'aide de pelles équipées en dragline.

Faucardage :

Il consiste à enlever toutes les plantes aquatiques qui se développent dans le lit de l'émissaire. La fréquence des travaux de faucardage est en moyenne de 1/an.

SCHEMA D'UN RESEAU DE DRAINAGE



4. DRAINAGE PAR TUYAUX ENTERRES

Le drainage par tuyaux enterrés consiste à disposer dans le sol, un réseau de tuyaux, destiné à l'aérer et à l'assainir.

Les réseaux sont composés de tuyaux de petits diamètres assurant le drainage à la parcelle et de tuyaux de diamètres plus importants qui constituent les collecteurs.

Les tuyaux utilisés étaient autrefois en poterie ; ils sont actuellement en matière plastique (polychlorure de vinyle) et sont parfaitement adaptés à la pose mécanique.

4.1. Détermination des éléments du projet

Il est indispensable de procéder à des études préalables avant l'exécution du projet. Ces études doivent permettre la détermination des critères topographiques, pédologiques, hydrodynamiques et agronomiques indispensables à l'établissement du projet de drainage.

- **L'écartement des drains** est une distance qui varie en fonction de plusieurs paramètres (niveau de la nappe phréatique, conductivité hydraulique, débit de drainage).

Il existe plusieurs méthodes de calcul d'écartement des drains (Hooghoudt, Ernst, Kostiakov, Sine, etc...). A noter une formule applicable aux sols très lourds de Ph. CROS.

La formule générale est la suivante :

$$E^2 = \frac{4\,Kh}{l}\,(h + 2\,\delta) - 8\,R\,(h + \delta)^2$$

avec : K = composante horizontale moyenne de la conductivité hydraulique du sol.

h = hauteur de la nappe à son sommet prise par rapport au niveau du drain en m.

δ = distance qui sépare le toit du substratum du niveau des drains (hauteur équivalente de Hooghoudt).

R = nombre sans dimension tenant compte de la répartition de la charge hydraulique le long de l'entre-axe des files de drains $R = \frac{h}{3h + \delta}$

l = vitesse d'infiltration ou débit du drain.

- **Diamètre et longueur des drains**

Le diamètre utilisé couramment pour les petits drains est compris entre 5 et 8 cm.

La longueur maximale des drains de 5 cm est de 150 m et celle des drains de 6 cm, de 200 m.

La détermination du diamètre des collecteurs revient au calcul de la section nécessaire pour assurer l'écoulement d'un débit donné avec une pente donnée.

4.2. Matériaux de drainage

Les tuyaux en polychlorure de vinyle (PVC) ; les plus utilisés sont :
— les tuyaux lisses à fentes longitudinales ;
— les tuyaux annelés à perforations ovalisées.

Afin de faciliter la pénétration de l'eau de la nappe dans le drain et d'empêcher la pénétration des éléments fins dans les canalisations, des filtres enrobant le drain préalablement à la pose seront mis en place.

Les filtres de l'ordre d'un centimètre d'épaisseur sont constitués de tourbe fibreuse, de paille, de fibre de coco ou de polystyrène expansé. Ils sont maintenus en place autour du drain par un treillis en nylon ou par de la ficelle.

Les tuyaux sont posés directement à l'aide de machines spéciales appelées trancheuses-poseuses.

CHAPITRE XI

MACHINISME

I

CULTURE MANUELLE

1. PETIT OUTILLAGE A MAIN

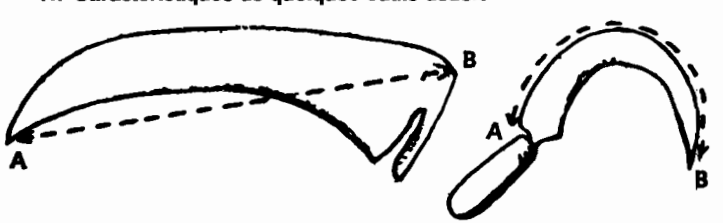
Le petit outillage à main reste en Afrique d'un usage très répandu. La très grande variété des outils suivant les régions rend la fabrication centralisée difficile.

Certains équipements, pourtant, sont produits par des unités de type industriel. Exemple : machettes produites par les usines de Côte-d'Ivoire, du Cameroun et du Zaïre.

D'autres outillages sont faits par les forgerons. Leur qualité dépend des moyens (forge) de ces artisans et de la qualité des aciers dont ils disposent. Parmi ces matériels, on trouve au tout premier rang les haches traditionnelles (fer traversant le bois, au feu), les « daba » de formes et dimensions variés (Senoufo par exemple), les biliaires, cayendo, etc., tous et toutes, outils de travail du sol.

Indépendamment de l'approvisionnement en aciers de rècupération (lames de ressort de vèhicules réformés), il convient de s'assurer que les aciers utilisés correspondent à des normes minimales de dureté et d'aptitude à la trempe : les aciers Martin demi-durs 50 à 55 kg/mm² sont un minimum à exiger des commerçants.

1.1. Caractéristiques de quelques outils usuels



Les faux et faucilles se mesurent, comme ci-dessus, entre les points A et B.

	Dureté minimale à exiger (en kg/mm²)	Dimensions (en cm)	Poids (en g)	Description
Machette	67-65	L 35,5-63 l 5-15	600-700	
Hachette	60-70		500-1 500	à douille ronde avec ou sans talon
Houe (Ceylan)	56-65	H 17-20 l 13-17	650-1 000	
Croc (à 3 dents)		H 26-35 l 13-16	1 000-1 700	
Fourche à bêcher		H 270-700 l 200	1 500-2 400	à 3 ou 4 dents
— à foin		H 230-310	270-520	à 2 ou 3 dents
— à fumier		H 290-310	400-850	à 4 dents
Ploche-hache		L 350-550 l 60-80 côté panne l 75-100 côté hache	1 500-3 500	
Sécateur à une main		L 20-25		
Sécateur à deux mains		L 40-75		
Scie à ébrancher		L 30-70		
Faux, faucille	70	L 30-70	de tailles et formes diverses.	

Outils très spécifiques :
— couteau à thé : lame de 150 à 300 mm ;
— couteau à saigner les hévéas : lame de 150 mm ;
— couteau malais pour récolte du régime de palme (cf. IRHO) emmanché sur perche en duralumin (jusqu'à 8 m de long).

1.2. Entretien des outils

Pour entretenir et affûter le petit outillage, on recommande l'emploi de meules en grès 400 mm X 40 mm, de pierres à aiguiser et éventuellement de limes et marteaux.

Une installation de forge doit être équipée, au minimum, des outils suivants :
— meule d'ébarbage à grain moyen ;
— pince de forge, à bec plat ;
— marteaux de 250 à 500 g ;
— enclume (même rudimentaire : tronçon de rail) et soufflerie.

2. APPAREILS ET OUTILS PORTÉS, POUSSÉS, TRACTÉS... PAR UN HOMME

2.1. Pour cultures pluviales

• **Rayonneur**

Matériel habituellement de fabrication artisanale, réalisé en bois. Forme en T, renforcé par deux tendeurs (équerres). La traverse a une dimension proche de 2 mètres, elle permet la fixation de 4 dents, de herse par exemple. Tiré par un homme, le rayonneur permet de marquer les lignes de semis de l'arachide, du mil, du sorgho, etc. sur le sol.

• **Sillonneur**

Marquage plus prononcé que celui des rayonneurs, assuré par de petits socs de 5 cm ; matériel métallique de largeur inférieure au mètre.

• **Semoir dit « à la volée »**
— Porté, ventralement par un homme. Projection centrifuge par un disque animé par manivelle. Largeur de travail 3,5 à 7 m selon recouvrement.
— Monté sur roulette et traîné par un homme. Fabrication récente dérivée des activités « parcs et jardins ». Moins de dégagement que le précédent, bien que fondé sur le même principe.



Semoir centrifuge (France)

- **Semoir « en ligne »**
  Il ensemence généralement 1 rang à la fois.
  — À « rouleau » ou à « disque » : ce dernier formant trémie ; le réglage de la distribution est assuré par la rotation d'une bague perforée (et calibrée).
  — Type IITA : ensemble en forme d'étoile, chaque branche pénétrant tour à tour dans le sol et plaçant la graine grâce à un dispositif à bascule incorporée.
  — Dit « de précision », poussé ou traîné, de principe très classique : un disque distributeur est entraîné par cardan, chaîne ou courroie, à partir de la roue motrice unique. Adaptè aux cultures maraîchères, maïs, haricot.

- **Semoir en « tous sens »**
  Principe des cannes planteuses :
  — « Tico-Tico » brésilien ;
  — canne avec ou sans disque distributeur.
  Dans tous les cas, le fait de planter la canne dans le sol y libère la (les) graine(s). Le mouvement imprimé à l'appareil peut provoquer celui d'un petit disque distributeur qui, à ce moment, dose la quantité de grains. Matériel porté à une ou deux mains.

- **Repiqueuse**
  — Fourche repiqueuse : 30 à 37 cm de long, 2 dents de 2,5 cm formant un angle de 30°.

- **Sarcleuse et bineuse**
  — Houe à bras poussée par un homme. 1 roue AV support, de ∅ = 35 cm. Une pièce travaillante (rasette) de 35 cm de large a une action très superficielle.
  — Fraiseuse extensible. Les outils ont une forme d'étoiles de 15 cm de diamètre. La juxtaposition des étoiles sur le même axe permet de varier la largeur entre 10 et 30 cm.

- **Arracheuse de manioc**
  — Bras de levier entraînant un effort modeste de 1 à 2 kg. Rendement de chantier : arrachage + séparation racines/tiges = 150 h/ha/1 personne.

- **Coupeuse de fourrage à manivelle**
  2 lames radiales sur le volant et une contre-lame sur le bâti. Rendement 200 à 300 kg/heure de fourrage frais, hachés.

- **Batteuse à riz pluvial**
  Cf. ci-après riziculture irriguée ou aquatique.

- **Egreneuse à maïs**
  — Anneau simple de ∅ = 6 cm au travers duquel on « force » l'épi en le tournant. Fabrication souvent artisanale (appelé encore cylindre ou bracelet...).

— Mini-modèle à manivelle entraînant un plateau denté. Rendement = 7 kg/heure.
— Modèle monté sur bâti métallique, avec petite trémie animé par manivelle plus conséquente. Le principe d'égrenage par frottement de l'épi sur un plateau très rugueux reste le même. Rendement = 35 kg/heure.

- **Batteuse d'arachide « en vert »**
  — Batteur constitué par 2 flasques et 3 battes cylindriques en bois. Convient à l'arachide dont la partie aérienne est encore verte (arachide de bouche notamment). Aucun nettoyage du produit. Entraînement par manivelle et chaîne type bicyclette. Rendement = 50/60 kg/heure.

- **Décortiqueur d'arachide**
  — Frottement entre des balles de patins hérissés de petites dents et un contre-batteur ou grille. Entraînement par levier ou manivelle. Rendement : de 50 à 100 kg/heure, de gousses traitées. Modèles équipés ou non de nettoyeur (ventilateur).

- **Nettoyeur**
  — Tarare simple (« van ») : 1 m³/heure de semences (ex. arachide), 25 kg/heure de paddy mélangé aux feuilles...
  — Crible et petit trieur rotatif : jusqu'à 100 kg/heure.

2.2. Pour riziculture irriguée ou aquatique

- **Semoir type Ceylan ou IRRI**

Intervention après préparation de la rizière (boue). En principe, semis de riz prégermé. Les tubes de descente vers les patins marqueurs sont alimentés manuellement depuis une caissette (trémie).

- **Repiqueuse**
  — Repiqueuse à main chinoise sur patins : espacement entre lignes fixé par le constructeur (25 à 40 cm) ; espacement sur la ligne commandé par l'opérateur. Tâche : 20 ares/jour de 2 UTH. En principe, ce matériel existe toujours « en carton » mais il n'est plus fabriqué depuis le lancement de nouvelles générations de repiqueuses motorisées.
  — Un modèle à 6 rangs a été étudié par l'IRRI et le GATE et diffusé au sein du RNAM. Des repiqueuses motorisées sont aussi très utilisées en Asie.

- **Sarcleuse rotative à main de type japonais**
  — Le modèle japonais comprend 2 rotors et un patin à l'avant faisant office de lame de sarclage.
  — Sur le modèle SATEC/Afrique de l'Ouest, le patin AV n'a qu'un rôle de support.
  — Il existe des matériels 1 et 2 rangs.

- **Faucheuse javeleuse japonaise sur patins**

A existé et figure toujours « en cartons ». Elle exige une lame très affûtée et, par nature, demande un effort de poussée très grand.

- **Batteuse à riz**
  - — Egreneuse à peigne.
  - — Batteuse à pédale, n'absorbant pas la paille, équipée d'un batteur à boucles. Rendement : 70 kg/heure/2 UTH d'un mélange paddy + feuilles + pédoncules, etc.
  - — Batteuse à pédale ou à bras équipée d'un batteur à dents, sans nettoyeur ni secoueur. Montages sur roulement, plus élaboré. Rendement de 150 kg/heure/3 UTH, mais effort « limite » pour l'homme.

3. PETIT ÉQUIPEMENT COMPLÉMENTAIRE POUR EXHAURE DE L'EAU

- **Pompe à main à balancier, à manivelle... aspirante-refoulante**

Généralement, le tube est en acier galvanisé ou PVC rigide, le tringlage en acier galvanisé ; le piston a un segment en cuir, le clapet est en caoutchouc. Performances : 1 000 à 1 500 l/heure pour 30 à 50 m de profondeur. Certaines, dites « à grandes profondeurs » sont présentées pour 50 à 70 m et 1 000 l/heure de débit.

- **Pompe à main à membrane**

4 m^3/heure (50 mm de ∅ aspiration) par exemple. Valable aussi pour les eaux chargées.

II

TRACTION ANIMALE

1. PUISSANCE DISPONIBLE ET PUISSANCE NÉCESSAIRE EN CULTURE ATTELÉE

1.1. Puissance disponible

À la lumière des expériences effectuées dans différents pays tropicaux, on peut estimer que les bovins, bien entretenus, peuvent fournir un effort équivalent au 1/7e ou 1/8e de leur poids, pendant six heures par jour. Pour les animaux « tout venant » on admet plus souvent le ratio : « 1/10e de leur poids », comme valeur de l'effort en continu (durant la journée de travail de 6 heures). Les ânes plus nerveux, ainsi que les chevaux et les mulets peuvent atteindre 1/4 à 1/6 de leur poids en effort continu pendant trois heures et demie à 4 heures au maximum et par jour.

Tenant compte de la vitesse habituelle de déplacement et de l'effort, on peut établir un tableau des **puissances disponibles**. Pour les exprimer, on notera que le rendement est de 1 lorsque les animaux sont utilisés en traction « en ligne » (exemple : labour...) et de 0,8 lorsqu'ils tournent pendant le travail (exemple : animation d'un manège en bon état).

Chiffres moyens

	Poids moyen kg	Force de traction N (1)	Vitesse moyenne de travail m/s	Puissance W
Bœuf de Madagascar ...	350	450	0,6	300
Bœuf du Burkina Faso ..	300	400	0,6	240
Cheval du Sénégal	300	400	0,7	280
Ane lourd	150	200	0,6	120
Ane léger	100	150	0,5	75
Chameau	500	500	0,5	250

(1) Pour un travail de longue durée.

Pratiquement, avec deux animaux, la puissance unitaire peut être multipliée par le coefficient 1,8. Il en va de même lorsqu'on passe d'une attelée à deux attelées tractant l'une derrière l'autre.

Lorsque les animaux utilisés sont trop légers et en mauvais état d'entretien, un accroissement de vitesse de travail, pour augmenter leurs performances au travail, se fait au détriment de leur santé et de la qualité du travail.

1.2. Puissances nécessaires

Le CNRA de Bambey – Sénégal – a multiplié les essais dans ce domaine à partir de 1958. On tire de ces essais les résultats moyens suivants, à titre indicatif et pour les conditions du Sénégal.

— Eclatement du sol sec (saison sèche) :
  - Sols DIOR (5 % argile) : 100-150 daN ;
  - Sols DECK (5 % argile) : 200-220 daN.

— Labour d'enfouissement en sol humide (jachère, engrais vert) :
  - Sols DIOR (profondeur 15-20 cm) : 70-150 daN ;
  - Sols DECK (profondeur 15-20 cm) : 80-165 daN.

— Billonnage :
  - Entre 4 et 8 % d'argile, avec billonneuse à disque, billons de 40 cm de haut sur 60 cm de large : 110-150 daN.

— Semis :
  - Sols DIOR, 1 semoir monorang : 10-20 daN ;
    2 semoirs monorang : # 30 daN ;
  - Sols DECK, 2 semoirs monorang : 40-80 daN.

— Binage :
  - Sol DIOR, porte-outils de 1,20 m portant 4 lames de binage travaillant à quelques cm de profondeur : 50-70 daN ;
  - Sols DECK, même matériel : 55-80 daN.

— Récolte de l'arachide :
  • Sol DIOR, lame de 350 mm d'emprise : 40-45 daN ;
    lame de 500 mm d'emprise : 80-85 daN.

En moyenne, les efforts de traction varient selon les sols, entre 20 et 80 daN par dm^2 de section travaillée.

En première approximation et pour évaluer un problème on peut utiliser des chiffres de Bambey, obtenus en sols sableux (Dior = de 2 à 5 % d'argile. Deck = 4 à 8 % d'argile), dans bon nombre de sites d'Afrique de l'Ouest.

2. SYSTÈMES D'ATTELAGE

2.1. Types de harnachement

Il existe plusieurs sortes d'attelages pour animaux de trait :

— le collier, utilisé le plus souvent pour le cheval, l'âne, mais quelquefois pour le bœuf (attelage à animal unique) ;

— la bricole, attelage d'un animal unique (cheval, âne, bœuf) ;

— le joug, utilisé uniquement pour les bœufs :
  • le joug simple ou *jouguet,* s'adresse à 1 seul animal. Equipé d'un palonnier et de chaînes gainées pour éviter les blessures des flancs, il est souvent bien adapté à la réalisation des semis, des sarclages... ;
  • le joug double ou *joug* s'adresse à deux animaux, qui doivent être attelés toujours du même côté, le dressage spécialisant droitiers et gauchers.

Il existe deux grandes catégories de jougs :

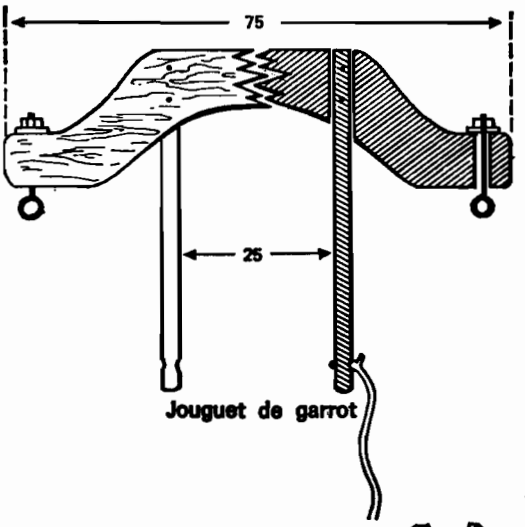
— le joug *de tête,* qui peut être de front (rare) ou de nuque (très répandu en pays tempérés) ;

— le joug *de garrot,* qui repose sur le garrot, très utilisé en Afrique soudanienne.

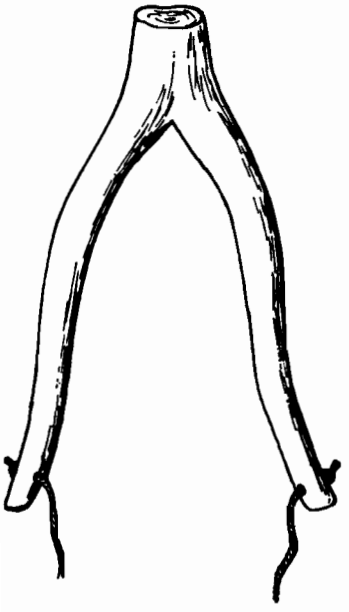
Joug de nuque

Avantages	Inconvénients
— Maintien et guidage plus faciles des animaux peu dociles.	— Il gêne les mouvements de la tête et empêche les animaux de se défendre des mouches.
— Permet « le coup de collier » au démarrage pour les bovins forts d'encolure.	— Il devrait être fait « sur mesure ».
— Facilite le recul et la retenue des charges dans les descentes.	— Les animaux doivent être de taille et conformation comparables et dotés de cornes bien implantées.
	— Le système de fixation est compliqué et nécessite des paysans bien entraînés.

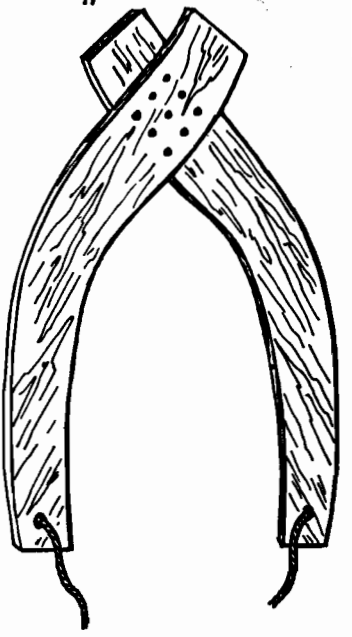
HARNACHEMENTS INDIVIDUELS BOVINS



Jouguet de garrot



Jouguet simple
dans une fourche naturelle



Jouguet de garrot
type chinois

Joug de garrot

— Forme simple, construction facile d'où prix peu élevé.
— S'adapte facilement à l'animal.
— Il laisse l'animal libre de la tête.
— Il convient mieux aux animaux à bosse de type zébu.
— Comprime la trachée-artère par son attache basse.
— Risque de provoquer des blessures au garrot.
— Se prête mal au recul et à la retenue de la charrette dans les descentes.

En Afrique, les jougs de nuque ou de garrot pèsent de 7 à 10 kg. Quelquefois moins (3 à 4 kg à Bambey, Sénégal). Pour leur fabrication on utilise les essences suivantes :

Cordyla Africana (« Dimbou » du Sénégal),
Pterocarpus erinaceus,
Tamarindus indica (tamarinier),
Balanites aegyptiaca,
Mitragyna ciliata ou inermis (« Diou » du Mali),
Kaya Senegalensis (caïlcedrat),
Tectona grandis (teck de Côte-d'Ivoire),
Hyphaene Ghebaïca (doum),
Butyrospermum Parkii (karité, « Sé » du Mali),
Parkia biglobosa (néré),
« Gabourg » et « Dong » du Togo.

2.2. Dispositifs de liaison

Les dispositifs de liaison transmettent la force de traction à l'instrument tracté :

— le timon : barre rigide qui, employé en montage fixe avec la charrue permet de supprimer la roulette tout en améliorant la tenue de l'outil sur terrains en pente, mais la rend plus sensible aux écarts de l'attelage ;
— le faux timon : plus court que le timon ; il est accroché à la machine par une chaîne de 40 à 50 cm de longueur.

Ces deux dispositifs offrent peu de risques d'être enjambés par les animaux lors des virages ;

— la chaîne : dont la longueur peut varier de 2,50 m à 3 m ;
— les traits : utilisés pour l'attelage d'un seul animal, ils peuvent être en corde de forte section ou en chaîne légère. Dans ce dernier cas, la chaîne doit être gainée ;
— le palonnier : assure la liaison des traits à l'outil.

3. INSTRUMENTS DE CULTURE

D'une manière générale, le choix des instruments de culture attelée doit tenir compte du poids et de la qualité des matériels proposés en particulier de la dureté des aciers constituant les pièces travaillantes, qui devrait se situer aux environ de 70-75 kg/mm^2.

3.1. La charrue

Permettant la réalisation de labours, la charrue est l'instrument de choix pour assurer l'ameublissement de la couche superficielle, qui est retournée, l'enfouissement des débris végétaux, le déterrage des racines ou des rhizomes indésirables.

Le labour est une opération primordiale en culture évoluée, car il permet une meilleure utilisation des réserves hydriques et minérales du sol.

3.1.1. DESCRIPTION

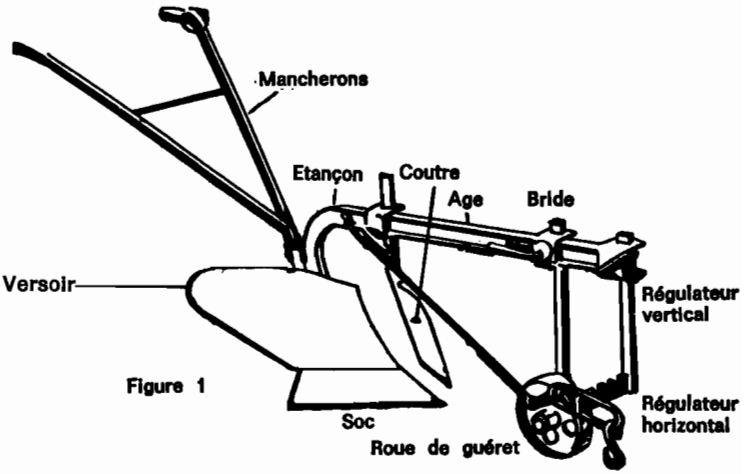


Figure 1

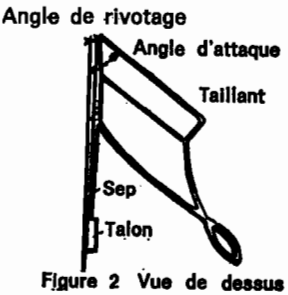


Figure 2 Vue de dessus

3.1.2. PIÈCES TRAVAILLANTES

Le soc, pièce principale en acier mangano-silicieux, est généralement à taillant droit. Il peut être complété par un carrelet (sol abrasif, pierreux), ou composter un renforcement de la pointe (bec de canard).

Le coutre est utile en sols herbeux et pour les labours profonds. Il est rarement utilisé en Afrique, car les profondeurs atteintes sont trop faibles.

Soc et coutre sont des pièces d'usure. Lorsque leur taillant est émoussé, il convient de les démonter, de les rebattre et de les retremper. Talon et contre-sep sont aussi des pièces d'usure.

Le versoir : on dit habituellement hélicoïdal pour les sols lourds et cylindriques pour les sols légers. De fait et en Afrique, le versoir cylindro-hélicoïdal est le plus vulgarisé dans les conditions mixtes. Le versoir est généralement fabriqué en acier Triplex.

L'utilisation des aciers au Bore dans la fabrication de ces équipements peut entraîner des modifications importantes dans les techniques d'usure et dans la qualité des produits.

3.1.3. ANGLES CARACTÉRISTIQUES

Le taillant est le côté affûté qui découpe en oblique la bande de terre.

L'angle de coupe (ou d'attaque) est l'angle formé par le taillant, la pointe du soc et la muraille.

L'angle d'entrure est constitué par la pente de la partie supérieure du soc mesurée dans un plan vertical parallèle à la muraille.

L'angle d'embêchage, sous le soc, empêche que toute la face inférieure frotte dans le fond de raie. Seuls deux points sont en frottement : le taillant et le talon.

L'angle de rivetage (ou rivotage) a pour but d'empêcher le frottement sur la muraille. Seuls demeurent en frottement le côté du soc et le talon, ainsi que le contre-sep.

Les valeurs courantes des angles sont les suivantes :

— attaque : 35 à 47°,
— entrure : 15 à 22°,
— rivotage : 176 à 178°,
— embêchage : 170 à 175°.

3.1.4. ACCESSOIRES DE RÉGLAGE

La roue de guéret *et* le régulateur vertical règlent et stabilisent la profondeur du labour. Le régulateur vertical permet d'ajuster le talonnage à une profondeur donnée.

En position de travail, la charrue doit être sensiblement horizontale avec une légère tendance à talonner.

Le régulateur horizontal règle et stabilise la largeur de labour. Lors de la conduite de la machine, le laboureur fait pivoter la charrue à droite et à gauche, en s'appuyant sur la roue de guéret pour maintenir, rectifier, ... la largeur de travail. Ainsi, régulateur et roue, théoriquement indépendants, sont difficilement dissociables lors des réglages.

Cette roue de guéret doit avoir 200 à 250 mm de diamètre et un bandage de 35 mm pour assurer son office.

Le patin peut, dans certains cas, avantageusement remplacer la roulette :

— en conditions très humides,
— en sols herbeux.

3.1.5. LES PRINCIPAUX TYPES DE CHARRUES À TRACTION ANIMALE

- La charrue simple, à stabilisation avec une seule roulette effectue des labours en planche ou en tournant.
- La charrue réversible : tourne sous âge ou 1/4 de tour arrière, permet de faire des labours à plat.
- La charrue Brabant double, réversible, est peu utilisée.
- La charrue tourne sous sep, de type Japonaise, avec soc triangulaire et versoir à claire-voie est recommandée pour les labours en rizières sous lame d'eau ou très humides.

3.1.6. CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

La largeur nominale du soc, (exprimée en pouces ou en cm) projection du taillant sur un plan perpendiculaire à l'âge de la charrue, conditionne la largeur du labour.

Largeur X profondeur = section de labour (S)

S X résistance spécifique = résistance à la traction.

Poids de la charrue :

— Charrue ultra-légère 15/20 kg ;

— Charrue légère 20/35 kg ;

— Charrue lourde 35/65 kg.

L'effort de traction nécessaire dépend plus des dimensions de la section travaillée que du poids de la charrue. Ce dernier, à possibilité de travail égale, varie dans des limites assez larges avec la qualité de l'acier utilisé. En particulier pour les socs, on ne devrait pas accepter des aciers présentant une dureté Brinell inférieure à 65-70 kg/mm^2.

Il convient de noter que la résistance à la traction d'une charrue est fonction de la section de terre retournée, de la texture et du degré d'humidité du sol, mais elle varie aussi avec la forme et la surface des pièces travaillantes.

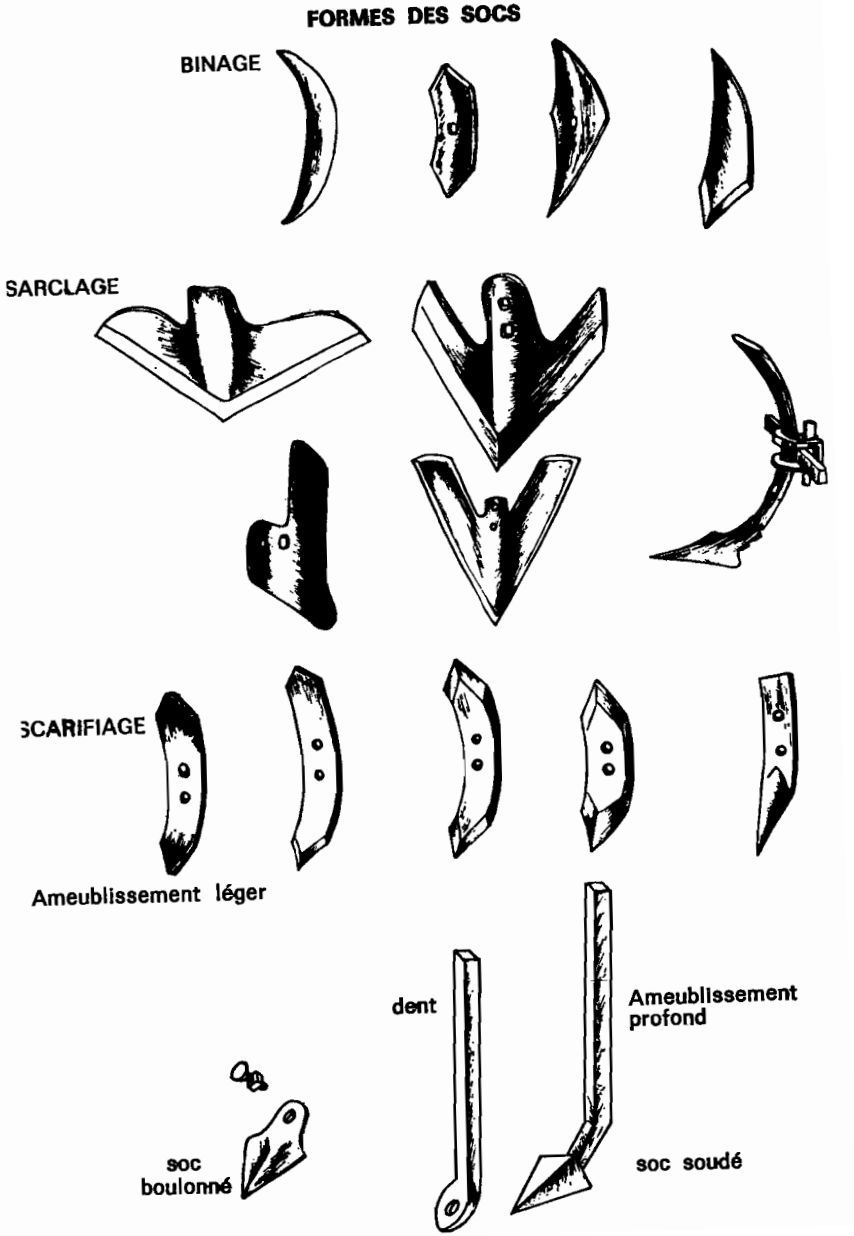
3.2. La houe

La houe, construite à l'origine pour le binage et le sarclage, opérations d'entretien de cultures, est souvent utilisée en zones arides pour la préparation des sols légers avant semis ; elle permet un ameublissement sommaire mais rapide en des régions où le calendrier agricole est serré. Parfois le bâti de la houe peut être équipé de socs butteurs.

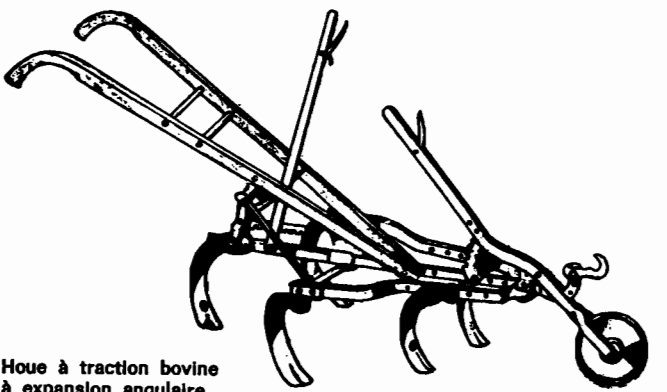
3.2.1. DESCRIPTION

Le châssis de base, avec régulateur vertical (roue support) et crochet d'attelage, est réglable en largeur soit par expansion parallèle soit par expansion angulaire. Dans les mises en place actuelles figurent, seuls, les premiers équipements.

Divers équipements peuvent être adaptés sur des étançons souples (canadien) ou rigides :


FORMES DES SOCS
BINAGE
SARCLAGE
SCARIFIAGE
Ameublissement léger
dent
Ameublissement profond
soc boulonné
soc soudé

– Binage : bineuse (pour briser la croûte superficielle)	Socs triangulaires à grande entrure de 35°
– Sarclage : sarcleuse (pour détruire les adventices)	Lames ou « ailes de pigeon » (à faible entrure) = 10° Elles ne peuvent être utilisées qu'au tout premier stade de végétation des adventices
– Sarclo-binage :	Utilisation de « pattes d'oie » qui ameublissent le sol tout en détruisant les adventices. Peuvent être utilisées plus tardivement. C'est l'équipement assez standard actuel.
– Scarifiage :	Socs étroits et griffons à fort angle d'entrure (jusqu'à 30-35°)
– Buttage :	Buttoirs à ailes fixes ou mobiles.



Houe à traction bovine à expansion angulaire à commande par crémaillère

	TRACTION D'UNE HOUE PAR		
	Anes	Bœufs légers (1)	Bœufs lourds (1)
Poids	16 à 30 kg	24 à 36 kg	46 kg
Section et profil du bâti	souvent longerons-poutres, parfois section pleine	parfois longerons-poutres, souvent section pleine	Toujours longerons de section pleine
Nature de l'acier Dureté	Acier au carbone > 65 kg/mm²	Acier au carbone > 65 kg/mm²	Acier au carbone > 65 kg/mm²
Modèle de réglage de la largeur de travail	Expansion parallèle ou angulaire	Expansion angulaire par crémaillère ou par vis	Expansion angulaire par vis
Largeur de travail			
minimum	0,30 m	0,30 m	0,40 m
maximum	0,80 m	1,00 m	1,20 m

(1) Le travail à le houe avec une paire de bœufs demande l'utilisation d'un joug d'une longueur adaptée à la distance des interlignes.

3.3. Le semoir

Le semoir permet la mise en place des semences, soit à la volée, soit, le plus souvent, en lignes.

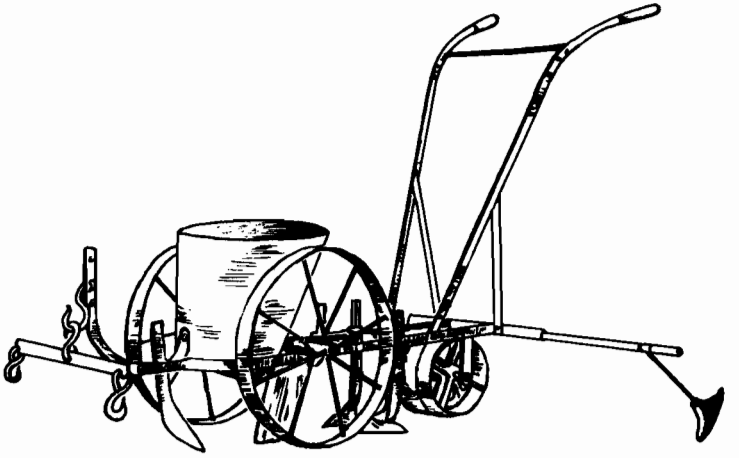
3.3.1. DESCRIPTION

Les semoirs proposés aux paysans africains sont pratiquement toujours du type en ligne pour faciliter l'entretien ultérieur des cultures. Ils ont été étudiés à l'origine pour l'arachide qui doit être semée graine par graine (d'où le nom de semoir mono-graine) et ne sèment qu'une ligne à la fois (bien qu'on puisse dans certains cas monter deux éléments identiques sur une « barre porte-outils »).

Un semoir « mono-graine » peut semer également du sorgho, du mil, parfois du coton, du maïs, du niébé, etc. par emploi du système de distribution adéquat (disque ou cuiller).

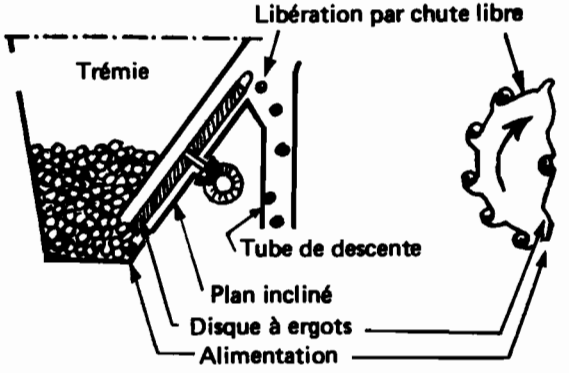
Il se compose souvent :

— d'un châssis-cadre, en acier plat, d'environ 1 m de longueur et de 0,15 m de largeur, dans sa partie la plus étroite (semoir de type SUPER ECO) ;





Semoir monograine. Vue d'ensemble : Plaques et étoiles de distribution interchangeables et adaptées aux différentes semences



Semoir à distributeur en étoile

— de deux roues d'entraînement en acier, en général de 0,40 m de diamètre, écartées entre elles d'environ 0,40 m ;
— d'une roue-plombeuse en fonte, à bandage incurvé d'environ 0,20 m de diamètre à partir de la roue-plombeuse.

Le mécanisme de distribution est constitué d'un disque incliné, percé d'alvéoles ou de crans à sa périphérie, qui tourne dans le fond d'une trémie. Le disque est amovible et peut être remplacé par des cuillers (pour le semis du mil par exemple).

Veiller à ce que le système de distribution corresponde bien à la forme et à la dimension des graines à semer ainsi qu'à l'espacement désiré ;

— de piéces travaillantes qui ont pour rôle d'enfouir et de recouvrir les graines distribuées par le mécanisme de distribution ce sont :
  • le coutre qui peut terrer jusqu'à 0,10 m environ,
  • les rasettes triangulaires,
  • le soc-semeur, de hauteur réglable qui peut déposer les graines jusqu'à une profondeur de 0,10 m environ ;
— le traceur, ou rayonneur, accessoire important, permet d'effectuer des semis en lignes bien parallèles et à écartement constant.

3.3.2. UTILISATION DU SEMOIR

— En semis à plat : c'est le cas le plus général ;
— en semis sur billons : il faut disposer d'un châssis spécial à grandes roues ;
— en semis combiné avec un distributeur d'engrais. Ceci permet de localiser l'engrais là où se développeront les racines de la plante.

Le réglage du débit peut se faire en changeant le disque distributeur : le débit augmente avec le nombre d'alvéoles et avec le volume de chacun d'eux. Le réglage se fait, souvent par changement de pignons. On doit tenir

compte de la variété semée et des prescriptions du constructeur. Les résultats doivent être vérifiés en début de chantier par un essai.

Le mode de traction utilisé dépend du poids de l'appareil et du nombre d'éléments assemblés sur un même châssis. Très généralement, le semoir mono-rang peut être tiré par un âne, un cheval ou un bœuf et la vitesse d'avancement diffère dans les trois cas. En pratique, le rendement est fonction de la vitesse de l'attelage et de l'écartement des lignes.

On sème généralement un hectare en 8 heures avec un écartement de 50 cm entre les lignes.

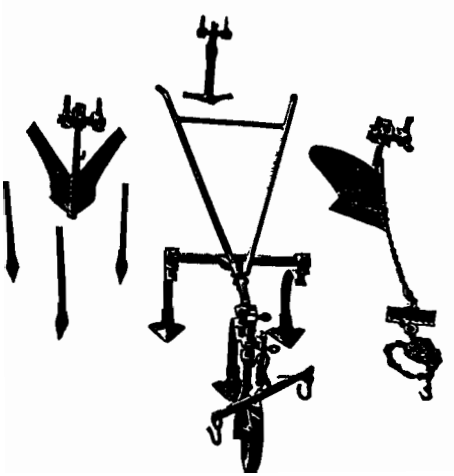
Les conditions indispensables pour une bonne utilisation du semoir sont les suivantes :

— terrain bien ameubli, nivelé, propre, non boueux ;
— graines propres, triées, calibrées ;
— semoir en bon état, complet et bien réglé ;
— animal de traction bien dressé, docile.

3.4. Les instruments polyvalents

Plutôt que de fournir au paysan une série d'outils spécifiques pour le labour, le semis, le sarclage, le billonnage, etc., on a pensé que la formule : « bâti unique plus outils spécialisés interchangeables » serait plus économique et d'un emploi plus souple.

Par le passé, on s'est efforcé de faire des distinctions poussées entre multiculteurs et polyculteurs. De fait, ce dernier terme désigne le nom d'une génération de machines polyvalentes (polyculteur suivi du tropiculteur) inventées par J. Nolle. Elles ont été imitées ici et là ; mais n'ont pas débouché sur des gammes très différentes : elles restent donc l'idée d'un homme,



SINE 9

BATIS POLYVALENTS

Sept équipements adaptables :
- 1 corps de labour 8 ou 10" HUARD UCF
- 1 butteur à ailes mobiles
- 1 souleveuse d'arachide (3 lames)
- 1 canadien 3 dents
  ou 5 dents avec adapteur
- 1 pic fouilleur (3 dents à 5 dents)
- 2 semoirs jumelés réglables de 30 à 90 cm d'écartement type SUPER ECO/TAMBA

Régulateurs vertical (talonnage)
horizontal (largeur)
Réglages simples et rapides
Adaptation des équipements par brides et vis à œilleton
Roue à bague fonte interchangeable
Chaînes de régulation et de traction
Poids 30/45 kgs suivant équipements

voire d'une marque. Les multiculteurs par contre sont nombreux : ils existent dans différentes marques.

Les différences entre **les** multiculteurs, le polyculteur ou le tropiculteur sont résumées dans le tableau suivant :

Caractéristiques	Multiculteurs	Polyculteurs
Attelage nécessaire	De l'âne à la paire de bœufs	Au moins une paire de bœufs
Roulement	Une ou plusieurs roulettes métalliques, ou patins	Pneumatiques ou grandes roues métalliques
Place du conducteur	Marche derrière ou sur les côtés, mancherons	Parfois assis sur un siège fixé au châssis
Bâti	Age ou cadre	Plus ou moins enjambeur
Mode de traction	Par chaîne	Par timon (ou limons)
Poids approximatif pour chaque catégorie, en version charrue.	20 à 75 kg	130 à 150 kg

Parmi la gamme d'équipements dont le montage est possible, on peut citer :

- charrue (de 6, 8, ou 10 pouces soit 15, 20 ou 25 cm),
- cultivateur à dents rigides (3 à 6),
- cultivateur à dents souples (3 à 6),
- herse à dents rigides ou souples (weeder),
- bineuse-sarcleuse,
- chausseuse-déchausseuse,
- pulvériseur à disques,
- butteur,
- piocheuse,
- rayonneuse,
- souleveuse,
- pulvérisateur ou barre de coupe avec entraînement par les roues,
- semoirs en ligne,
- distributeur d'engrais,
- plateau de charrette.

Le tropiculteur est une variante du polyculteur. Les roues sont montées sur des demi-essieux coulissants, permettant :

— de modifier la largeur de la voie pour l'adapter au travail et à la culture,

— d'obtenir un dégagement important facilitant les travaux d'entretien.

Enfin, signalons la mise au point d'un porte-outils universel dénommé K-NOL, à timon rigide et sans roue, rappelant les araires traditionnels encore utilisés dans de nombreux pays du Moyen-Orient ou d'Asie, mais plus perfectionné :

— le réglage de la pénétration des outils dans le sol s'effectue au moyen d'une vis à manivelle ;

— les outils sont interchangeables instantanément par un dispositif d'emboîtement à crochet ;

— un régulateur permet éventuellement de travailler en position déportée (position fixe) ou de diriger l'outil avec précision pour le binage ou le semis (position libre).

Il faut bien admettre que les matériels polyvalents lourds n'ont connu ni une grande diffusion, ni un réel succès, auprès des sociétés de développement et auprès des agriculteurs. L'unité SINE, à polyvalence réduite, a été très diffusée au Sénégal et au Mali. Ceci tient aux prix, à la technicité des agriculteurs, au « recouvrement » des façons culturales, à la disponibilité en animaux de traction...

3.5. La souleveuse d'arachides

Appareil léger (25 kg environ) se montant généralement sur un multiculteur.

Les pièces travaillantes :

- la lame de 350 mm est la plus courante ;
- la lame de 200 mm convient aux terrains durs et aux variétés à port érigé ;
- la lame de 500 mm est réservée aux variétés rampantes, ou en cultures non alignées en terres très sableuses.

La lame souleveuse peut aussi être utilisée pour le sarclage, en prenant la précaution de ne pas trop approcher des lignes de culture.

— Dans une culture d'arachides, en lignes espacées de 0,60 mm, on peut aisément atteindre *1/2 ha/jour* avec 2 UTH.

— *Efforts de traction* :

- Lame de 200 mm : de 40 daN à 60 daN ;
- Lame de 500 mm : de 50 daN à 90 daN.

Selon nature du sol.

4. TEMPS DE TRAVAUX

4.1. Pour terres légères

EN HEURES PAR HECTARE

Opérations culturales	Culture manuelle (1 UTH)	Culture attelée	
		Paire bœufs	Ane
		+ 2 ou 3 UTH	
Grattage en sec (simple)	30 à 35	12	25
Billonnage (à la charrue)	120	12	—
Billonnage (au billonneur)	—	9	—
Billonnage (au billonneur sur terre labourée)	—	7	—
Labour à plat (charrue 6 pouces)	200	—	60
Labour à plat (charrue 10 pouces)	—	25-30	—
Hersage ou passage canadien ..	—	5	5
Rayonnage au rayonneur	—	5	—
Semis en ligne (semoir à 1 rang)	64	12	7-10
Binage	160	15	12
Soulevage de l'arachide	96	20	—

Les temps donnés pour la paire de bœufs varieront en fonction du nombre de rangs des outils.

4.2. Pour terres lourdes

(Sols de rizières ou de cultures de décrues).

EN HEURES PAR HECTARE

Opérations culturales	Culture manuelle (1 UTH)	Paire bœufs + 2 ou 3 UTH
Billonnage (à la charrue) ..	140	30
Labour à plat	320	40
Hersage	—	15
Binage (pour cultures de décrues)	165	15

5. INSTRUMENTS DE TRANSPORT

5.1. Le bât

Charges admises généralement :
— bœuf : 100 - 150 kg ;
— mulet : 70 - 120 kg ;
— âne : 60 - 100 kg ;
— chameau : 120 - 150 kg.

5.2. La charrette

— Charge utile :
- 400 kg pour âne ou cheval ou bœuf unique.
- Théoriquement 1 000 - 2 000 kg pour une paire de bœufs.

Les charrettes fabriquées ne permettent guère plus de 500 à 700 kg.

— Essieux :

De préférence à section carrée de 40 mm de côté pour une charge utile de 1 000 kg, de 30 mm de côté pour une charge utile de 400 kg avec plaque centrale de fixation du timon.

Voie entre flottes : 1,20 m - 1,40 m.

Le système de roulement à billes ou à rouleaux doit être bien protégé. On préfère souvent la bague d'usure en fonte interchangeable à système de rattrapage de jeu.

— Roues :

En zones à mauvaises pistes, des roues à bandage métallique large (0,10 m), de grand diamètre (0,90 m à 1 m) poseraient moins de problèmes de maintenance. Mais, dans la pratique, et compte tenu des fabrications, on utilise très souvent les roues pneumatiques en toutes conditions.

— Plateau :
2 m^2 pour 400 kg de CU ;
4 m^2 pour 1 000 kg de CU ;
7 m^2 pour 2 000 kg de CU.

Doit être bien équilibré par rapport à l'essieu.

— Timon :

Le plateau étant à l'horizontale, le timon doit être légèrement en charge vers l'avant, son extrémité à hauteur des animaux utilisés.

L'extrémité du timon est ceinturée pour éviter l'éclatement sous l'effet de la traction du joug sur la cheville.

6. LES MANÈGES

Il existe plusieurs types de manèges : seuls les manèges à piste circulaire peuvent présenter un intérêt : on distingue les manèges à terre et les manèges en l'air suivant la position du bloc d'engrenage et de l'arbre de transmission du mouvement.

On décrira ci-après un manège de type intermédiaire. Le renvoi d'angle est à 1 m/1,5 m au-dessus du sol. L'appareil, placé à l'intérieur de la piste,

fait corps avec le manège. Il s'agit des manèges à prise directe dont les caractéristiques les plus importantes sont :

- longueur de la flèche, qui détermine la vitesse angulaire : 2,30 m est un minimum ;
- poids, qui conditionne le prix et la robustesse ;
- rapport de multiplication : de 6 à 42 ;
- rendement mécanique : 0,8 en général ;
- présence ou non d'un système de liaison élastique de la flèche ;
- présence ou non d'un dispositif de roue libre par encliquetage à crochets ;
- pour le pompage, capacité des godets au mètre d'élévateur.

Puissance de l'attelage (watt) x Rendement mécanique x 10^{-1}
= Débit (l/s) x hauteur de pompage (m).

Exemple pratique :

Le manège est entraîné par un âne de puissance 81 W.
Rendement du manège = 0,8.
Puissance utilisable = 6,5 W.
Elévation de 10 m = 0,65 l/s — 2 200 l/h.
Elévation de 20 m = 0,33 l/s — 1 100 l/h.

Il faut tenir compte des temps de repos (50 % du temps de travail). Par ailleurs, un animal ne peut travailler plus de 4 à 5 heures par jour, suivant les conditions climatiques.

Une partie de l'eau extraite doit être réservée à la production de fourrage pour l'animal moteur lui-même, au moins pour la période de travail (500 kg de foin, soit 10 ares irrigués environ).

7. LES APPAREILS SPÉCIALISÉS DE RIZICULTURE INONDÉE

7.1. Préparation du sol

— Charrue japonaise ;
— charrue à versoir (voir chapitre charrue) ;
— pulvériseur à disques de 6 à 12 disques (de 45 cm de diamètre) (force de traction importante).

7.2. Appareil de « mise en boue »

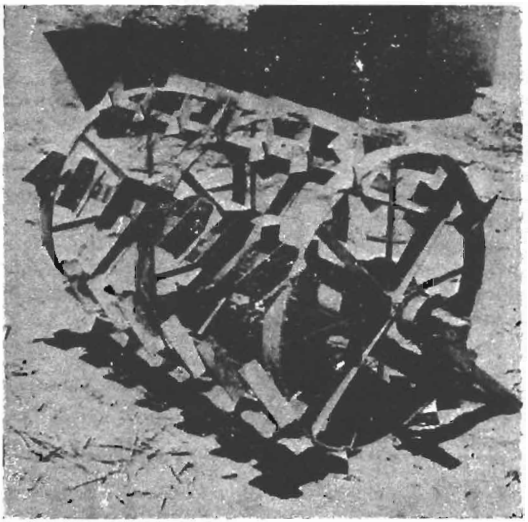
— Herse-peigne : largeur 1,10 m, 12 dents verticales de 30 cm de long, tirée par une paire de bœufs ;
— rouleau piétineur :

Caractéristiques d'un rouleau de construction locale :

- 7 roues de 70 cm de Ø, en fer plat de 60 mm, montées sur axe carré de 40 mm, 6 cm entre chaque roue ;
- 8 morceaux de cornière de 50, de 12 cm de long, inclinés de 2/5 par rapport à l'axe de l'appareil, alternativement vers la droite ou vers la gauche par séries de génératrices ;
- poids 150 kg ;
- largeur 78 cm.

Performances : on a obtenu en essais 5 à 7 h/ha après 3 jours de submersion. Sur sol labouré, on a économisé 50 % du temps de travail.

Le piétinage direct par le bétail demande 40-60 bœufs et 8 hommes pendant 5 à 6 heures, par hectare.



ROULEAU PIETINEUR DE FABRICATION LOCALE

7.3. Appareil de planage

— Planche à niveler (1 m par bœuf) ;
— planche à queue 1,80 m de long, 0,30 m de large.

Une planche perpendiculaire, articulée au centre, à la planche niveleuse permet de régler l'effort, suivant les besoins.

7.4. Construction de diguettes

— Raveleuse : pelle mécanique 50 à 200 litres, pesant à vide 50 à 200 kg ;
— billonneuse de construction locale : 2 planches de 2 m de long et de 30 à 40 cm de large assemblées en V.

7.5. Désherbage

— Bineuse sarcleuse rotative : à titre expérimental 0,8 ha/jour avec 1 bœuf bien entraîné travaillant 3 interlignes de 25 cm.

III

LES MOTEURS

1. LES MOTEURS ÉOLIENS

1.1. Types et choix

Les éoliennes modernes se classent en deux catégories :

— Eoliennes multipales ou « à roues à aubes », à marche lente et couple de démarrage excellent (grande surface alaire) utilisées fréquemment pour le **pompage.**

— Eolienne bi ou tripales, à couple de démarrage faible mais utilisant une gamme de vente plus étendue, utilisées surtout pour la **production du courant électrique.**

Pour les deux catégories, un système d'orientation de la voilure est indispensable. En outre, les multipales demandent un dispositif de « fuite » ou d'effacement en cas de vent violent, et les bi et tripales un frein ou un dispositif de variation du pas des pales.

La régularité des vents et leur intensité conditionnent le choix de type d'éolienne :

Echelle Beaufort		Vitesse des vents dominants	Type d'éolienne
	m/s		
0-2	0-3	Vent calme.	Toutes inutilisables.
3-	3-5	Sans risque de tornade. Vent faible.	Multipale.
3-9	3-25	Sans tornade. Vents normaux à violents.	Tripale avec régulateur de vitesse.
7-9	14-25	Avec tornade. Vents très violents.	Bipales et tripales à régulateur de vitesse obligatoire.

1.2. Caractéristiques techniques à étudier

— Nombre de pales.

Diamètre de la roue à aubes : de 1,8 m à 7,5 m en général.

— Système d'orientation, de régulation et de sécurité.

— Système d'utilisation :

- Utilisation directe du mouvement circulaire : pompe rotative, génératrice.
- Transformation en mouvement alternatif rectiligne par bielle et manivelle ou par came (réglage plus facile).

— Démultiplication : nombre de tours à vitesse donnée.

— Etanchéité des carters de transmission : attention aux « vents de sable ».

— Rendement : $\frac{\text{Puissance réelle}}{\text{Puissance théorique}} = n$ (0,40 en moyenne)

— Hauteur et assemblage du pylône (jusqu'à 21 m).

La hauteur du pylône est fonction de la présence d'obstacles. On peut prendre pour règle que la distance à l'obstacle doit être $\geqslant$ 10 fois la hauteur de celui-ci et que la hauteur du pylône doit être $\geqslant$ 2 fois la hauteur de l'obstacle.

1.3. Calcul de la puissance éolienne en kgm/s

$$P \text{ réelle} = n \times P \text{ théorique} = n \frac{d}{2g} SV^3$$

n = coefficient variable de 0,25 à 0,60
d = poids spécifique (kg/m³) de l'air
g = accélération de la pesanteur (m/s²)
S = surface du cercle de diamètre égal à celui de la roue ou de l'hélice (m²)
V = vitesse du vent (m/s)

Vitesse du vent m/s	Puissance réelle fournie (en kW) en fonction du diamètre du rotor			
	5 m	10 m	15 m	20 m
2	0,06	0,23	0,51	0,9
4	0,46	1,83	2,11	7,3
6	1,54	6,14	13,4	24,6
8	3,65	14,6	32,9	58,4
10	7,13	28,5	64,1	114,0

Les éoliennes les plus courantes sont des moteurs de faible puissance : 10 m d'envergure et 6 m/s = 8 ch environ. Mais le plus souvent la puissance moyenne est plus réduite.

1 m³ d'eau possède une énergie potentielle 800 fois plus forte qu'un m³ d'air à la même vitesse.

1 g d'essence équivaut à 1 000 m³ d'air s'écoulant à 8 m/s.

L'éolienne exige l'installation d'un réservoir d'eau pour parer au manque d'alimentation par temps calme et, si l'on vise la production d'électricité, la présence d'une batterie-tampon.

Les conditions d'isolement et les négligences d'entretien expliquent en partie que les cas de succès de ce procédé en Afrique centrale sont rares actuellement.

La supériorité de l'éolienne, qui utilise une source d'énergie gratuite, se manifeste dans les localités éloignées des centres et présentant un régime de vents constant et régulier. L'énergie étant gratuite, le seul problème consiste à amortir l'investissement sur une durée suffisante, et ceci n'est pas toujours facile.

2. MOTEURS ET TRANSMISSIONS HYDRAULIQUES

Terminologie : elle peut donner lieu à discussion dans les applications agricoles qui nous concernent.

Schématiquement on dira : hydraulique = mise en œuvre des fluides ; hydrostatique = fluides (liquides) plus spécialement au repos ; hydrodynamique = fluides (liquides) en mouvement. En matériel agricole, compte tenu des vitesses notamment, les trois termes s'appliquent tour à tour.

L'hydraulique connaît une évolution profonde et une généralisation d'emploi très large en machinisme agricole, grâce à sa souplesse d'utilisation, à sa puissance massique élevée et aux simplifications de construction qu'elle autorise. Les matériels actuels permettent d'obtenir une gamme très large :

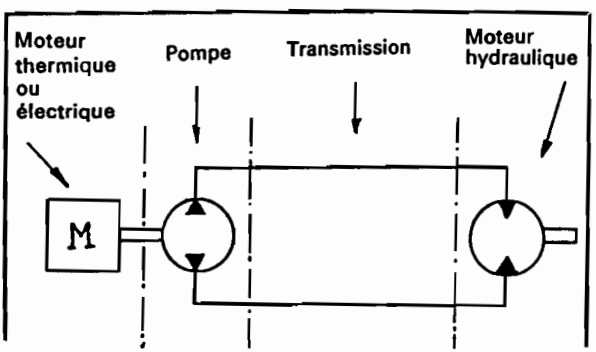
— de vitesses de rotation de façon continue, et si nécessaire, en contrôlant le débit ;

— de forces et de couples en contrôlant la pression.

2.1. Circuits hydrauliques – Principe

Un moteur électrique ou thermique entraîne une pompe, **transformant l'énergie mécanique en énergie hydraulique.** Les canalisations transportent l'huile de la pompe vers le récepteur qui peut être soit un vérin, soit un moteur dès lors qualifié d'hydraulique qui **transforme l'énergie hydraulique en énergie mécanique.**

Fig. 1. *L'usine nouvelle.*



2.2. Les composants hydrauliques

2.2.1. *LES POMPES* transforment l'énergie mécanique en énergie hydraulique. Une pompe fournit un débit d'huile Q sous une pression p.

Puissance d'entraînement :

P = C . W : P en watts (W) ; C couple en mètre-Newton (m.N) ; W vitesse angulaire en radian par seconde (rad/s).

Puissance hydraulique :

$\frac{p \times Q}{\eta \times 0{,}60}$: P en watts (W) ; p pression en bar (1 bar = 10^5 pascals) ; Q débit d'huile en litre/mn (l/mn) ; η rendement global de la pompe :

- pompe à engrenages : η = 0,75 à 0,85,
- pompe à palettes : η = 0,75 à 0,85,
- pompe à pistons : η = 0,85 à 0,95.

Fig. 2. *Représentation des pompes (Usine nouvelle).*

POMPES

Pompe hydraulique à cylindrée fixe :

— A un sens de flux ;



— A deux sens de flux.



Pompe hydraulique à cylindrée variable :

— A un sens de flux ;



— A deux sens de flux.



2.2.2. DIFFÉRENTS TYPES DE POMPES

— **Les pompes à engrenages**

Deux pignons droits engrènent dans un carter. L'huile est entraînée par les creux (c) formés par les dentures et est « chasée » dans la canalisation de pression.

Fig. 3. *Schéma de principe du fonctionnement d'une pompe à engrenage classique (Usine nouvelle).*

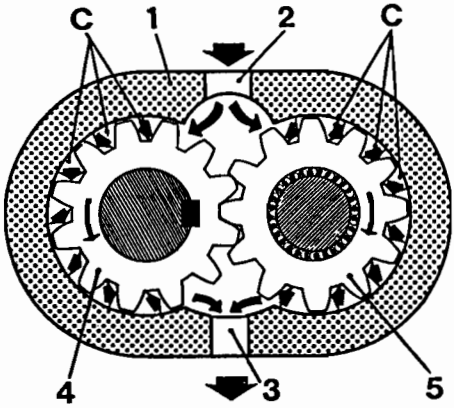


Schéma de principe du fonctionnement d'une pompe à engrenage classique.

1. Corps de pompe - 2. Orifice d'alimentation - 3. Orifice de refoulement - 4. Pignon menant (moteur) - 5. Pignon mené - C. Creux dans lesquels l'huile prisonnière est entraînée.

Cylindrée des pompes de 0,25 à 250 cm^3/tour
Pression maxi jusqu'à 150-300 bar.

— **Les pompes à palettes** (fig. 4)

Un rotor rainuré tourne dans un alesage excentré. Dans les rainures du rotor sont logées des palettes qui divisent l'espace en alvéoles. Le volume de ces alvéoles varie en fonctionnement : il augmente côté aspiration et diminue côté refoulement.

Il y a généralement deux aspirations et deux refoulements par tour, pour équilibrer les efforts radiaux.

— **Les pompes à pistons**

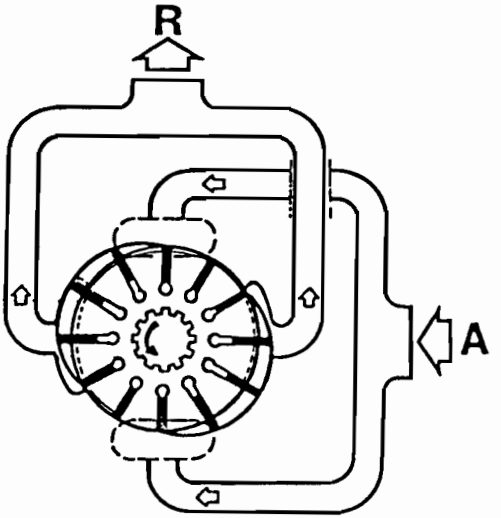
On distingue :

- les pompes à pistons *en ligne* ;
- les pompes à pistons *radiaux ;*
- les pompes à pistons *axiaux.*

Il existe une très grande variété de modèles et de marques. Elles ont généralement un excellent rendement global et peuvent travailler sous pression élevée.

Les pompes à débit variable sont généralement à pistons axiaux.

Fig. 4. *Pompe à palettes (Usine nouvelle).*



2.2.3. LES MOTEURS

Ils transforment l'énergie hydraulique en énergie mécanique de rotation. On distingue :

- **Les moteurs rapides**

Ayant une faible cylindrée par tour : moteurs à engrenages, à palettes, à pistons radiaux et axiaux. Leurs caractéristiques sont semblables à celles des pompes.

- **Les moteurs lents**

On trouve certains moteurs radiaux et les moteurs type ORBIT, les plus utilisés en machinisme agricole.

Ils se caractérisent par une cylindrée par tour élevé de 20 à 800 cm^3, donc par des couples élevés. Ils travaillent à des vitesses de rotation lentes de 200 à 1 000 tr/mn sous des pressions de 200-250 bars.

Leur rendement global varie de 0,5 à 0,8.

- Couple disponible sur l'arbre :

$$C = Cyl. \times \Delta p \times \eta m,$$

C couple en m. N,
Cyl cylindrée en litre,
Δ p en bar,
η rendement mécanique de 0,7 à 0,9.

- Puissance fournie par le moteur :

$$P = 15{,}9 \times Cyl. \times \Delta p \times \eta \times w$$

P : puissance en watts,
Cyl : cylindrée en litres,
Δp : en bar,
η : rendement global du moteur 0,5 à 0,8,
w : vitesse angulaire en rad/s.

On peut aussi utiliser un moteur rapide accouplé à un réducteur, pour obtenir un mouvement de rotation lent. Cette solution a un rendement mécanique supérieur, grâce aux très bons rendements des moteurs à pistons.

Fig. 5. *Représentation des moteurs.*

MOTEURS

Moteur hydraulique à cylindrée fixe :

— A un sens de flux ;



— A deux sens de flux.



Moteur hydraulique à cylindrée variable :

— A un sens de flux ;



— A deux sens de flux.



Moteur oscillant :

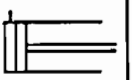
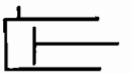
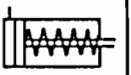
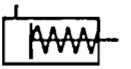
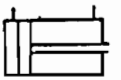
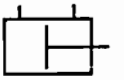
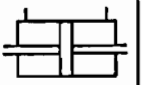
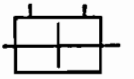
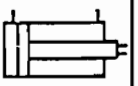
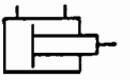
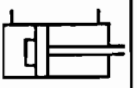
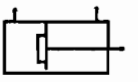
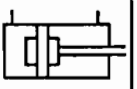
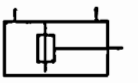
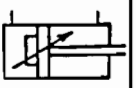
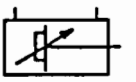
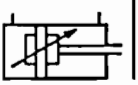
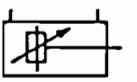


2.2.4. LES VÉRINS

Le vérin permet d'obtenir une force animée d'un mouvement rectiligne, il peut être moteur dans un seul sens (vérin simple effet) ou dans les deux sens (double effet).

Fig. 6. *Représentation des vérins.*

VERINS

	Détaillé	Simplifié
Vérins à simple effet :		
— A rappel par force non définie. Symbole général lorsque le mode d'obtention de la course retour n'est pas précisé ;		
— Rappel par ressort.		
Vérin à double effet :		
— A simple tige ;		
— A double tige traversante.		
Vérin différentiel.		
Vérin avec amortisseur :		
— Fixe d'un côté. (L'amortisseur fixe agit dans un seul sens).		
— Fixe des deux côtés. (L'amortisseur fixe agit dans les deux sens).		
— Réglable d'un côté ;		
— Réglable des deux côtés.		

Effort exercé par un vérin : $F = S \times p$: F en daN, S en cm^2, p en bar.

2.3. Les autres composants hydrauliques

— Les distributeurs sont destinés à orienter la circulation des fluides.
— Les accumulateurs peuvent stocker une certaine quantité d'huile sous pression et la restituer au moment opportun.
— Les canalisations.
— Le réservoir, filtre.

3. LES MOTEURS ÉLECTRIQUES

3.1. Généralités

Une installation électrique est caractérisée par :

— la nature du courant :
  • alternatif (monophasé ou triphasé) (50 ou 60 périodes (Hz)) ;
  • continu ;
— la tension (ou voltage) exprimée en volts ;
— l'intensité du courant exprimée en ampères.

Ces trois caractéristiques déterminent la puissance disponible pour l'installation ou le réseau envisagé :
— en continu : P (watts) = V (volts) x I (ampères),
— en alternatif :
  • monophasé : P (watts) = V (volts) x I (ampères) x Cos φ,
  • triphasé : P (watts) = V (volts) x I (ampères) x Cos φ x $\sqrt{3}$.

Cos φ est le facteur de puissance variable suivant les récepteurs utilisés sur le réseau considéré.
Rappel : 1 kW = 1,36 ch, 1 ch = 736 watts.

3.2. Puissance apparente – Puissance active – Inconvénients d'un faible facteur de puissance

• En courant continu
La mesure de la tension V et de l'intensité I donne la puissance absorbée par le récepteur, quel qu'il soit, par la relation : P = V x I

• En courant alternatif
Ces mêmes mesures donnent la **puissance apparente** P qu'il faut effectivement délivrer au récepteur, mais celui-ci ne consomme que la **puissance active** S, telle que : S = P x Cos φ
(exemple : monophasé : S = (V x I) x Cos φ ;
triphasé : S = (V x I x $\sqrt{3}$) x Cos φ).
On exprime communément :
— la puissance apparente en volt-ampères (VA ou kVA) ;
— la puissance active en watts (W ou kW).

Ainsi, si un groupe électrogène délivrant 100 kVA alimente un récepteur ou un réseau dont le facteur de puissance (Cos φ) est de 0,65, la puissance active sera :
S = 100 (kVA) x 0,65 = 65 kW

De même, pour une puissance active désirée de 80 kW par exemple, la puissance apparente à fournir sera de :

80 kVA si le Cos φ est égal à 1 ;
100 kVA si le Cos φ est égal à 0,8 ;
160 kVA si le Cos φ est égal à 0,5.

En règle générale, un mauvais facteur de puissance correspond à un rendement insuffisant des appareils utilisés sur le réseau.

- Le cas des moteurs électriques

Exemple : pour un moteur asynchrone pouvant fournir 16 kW, le facteur de puissance prend les valeurs indiquées dans le tableau suivant :

Puissance fournies par le moteur	0 kW (moteur à vide)	4 kW (1/4 de charge)	8 kW (1/2 de charge)	12 kW (3/4 charge)	16 kW (charge normale)
Facteur de puissance (Cos φ)	0,15	0,55	0,73	0,8	0,84

En conclusion, il ne faut pas choisir un moteur d'une puissance trop supérieure à celle dont on a besoin.

Remarques importantes :

— C'est la puissance apparente (finalement ce que l'on a à fournir au réseau !) qui fixe l'intensité maximale parcourant l'installation. C'est donc cette donnée (kVA) qui permet, connaissant la tension V, de choisir les lignes et les appareils de protection nécessaires.

— Il est toujours possible de compenser le facteur de puissance d'un réseau par adjonction d'un condensateur adéquat en dérivation sur les récepteurs.

3.3. Les groupes électrogènes

Il s'agit d'un ensemble d'appareils destinés à transformer l'énergie mécanique en énergie électrique, grâce à une génératrice de courant électrique appelée alternateur si le courant produit est du type alternatif, et entraînée habituellement par un moteur thermique soit à essence, soit Diesel.

Les groupes électrogènes à **courant continu** sont généralement des chargeurs de batteries.

Les groupes électrogènes à **courant alternatif** sont les plus répandus, ils produisent en général un courant monophasé ou triphasé. Le moteur de ces groupes doit nécessairement tourner à une vitesse donnée, de façon à produire un courant de fréquence déterminée :

— 50 Hz pour les matériels européens
et
— 60 Hz pour les matériels américains

$$\text{d'après la formule } N\ (\text{tr/min}) = \frac{60 \times f}{P}$$

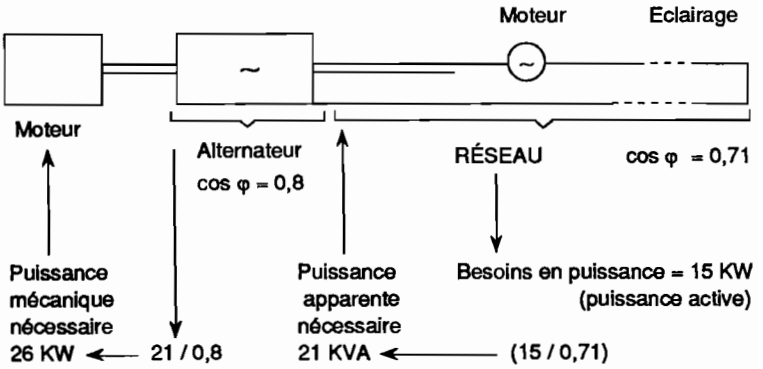
avec f = fréquence

$$P = \frac{\text{Nombre de pôles}}{2}$$

Exemple : un alternateur à 4 pôles produisant un courant de 50 Hz doit tourner à 1 500 tr/min.

EXEMPLE DE CHOIX D'UN GROUPE ÉLECTROGÈNE :

La puissance du moteur thermique, liée à celle de l'alternateur, est fonction des rendements de transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique (c'est là qu'intervient le Cos . de l'alternateur, à ne pas confondre avec le Cos φ du réseau à alimenter !).



Les puissances des groupes électrogènes sont réduites de 1 % par 100 m d'altitude au-dessus du niveau de la mer, et de 1 % par 5,5 °C au-dessus de 15 °C. Pour un groupe installé à 1 000 m et pour une température voisine de 26 °C, il faut donc estimer que la puissance sera diminuée de 12 %.

Pour juger un groupe électrogène, différents accessoires présentent un grand intérêt :

— **La liaison entre le moteur et la « génératrice »** est assurée de différentes façons : liaison directe (groupe monobloc), liaison semi-élastique, transmission par courroies et poulies à gorges, avec ou sans réduction de la vitesse de rotation.

— **Le démarrage et l'arrêt** peuvent être commandés à distance ou être automatiques. Le démarrage est soit mécanique (manivelle, cordelette, inertie, air comprimé, etc.), soit électrique (dynamo et batterie).

— **La régulation :** Un régulateur automatique de tension (+ 3 %) et un régulateur automatique de fréquence (± 2 %) sont souvent indispensables.

— **La sécurité :** Des dispositifs de sécurité à signalisation lumineuse ou sonore sont généralement montés sur le tableau de contrôle électrique ; ils ont pour but d'attirer l'attention sur tout défaut de fonctionnement.

Dans tous les cas, l'utilisateur doit exiger de l'installateur les schémas de « raccordement » et de « câblage ».

Le tableau de contrôle doit comporter tous les appareils de mesure (voltmètres, ampèremètres, etc.), de commande (interrupteurs) et de sécurité (coupe-circuits), en particulier, nécessaires au bon fonctionnement de l'ensemble.

3.4. L'entretien des moteurs électriques

• **Bonne protection électrique :** Le fusible doit être calibré à l'intensité maximale du moteur. Il vaut mieux prévoir un disjoncteur magnétothermique ; on le choisira *pour les intensités maximales en marche continue* d'après le tableau ci-après (I en ampères) :

Puissance en ch du moteur	0,33	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5	6
Monophasé :										
110 à 130 V	5,6	8,2	12	16						
220 V	2,8	4,2	6	8						
Triphasé : entre phases :										
220 V	1,6	2,2	2,8	3,9	5,3	7	9,7	11,5	15	17
380 V	1	1,3	1,7	2,3	3,1	4	5,6	6,7	9	10

• **Graissage et protection contre les poussières**

— **Conditions propre à une utilisation tropicale :** Afin de résister aux conditions particulières de température et d'humidité, les éléments des moteurs (bobinages, enroulements, conducteurs) doivent être « tropicalisés ». Il s'agit d'une imprégnation spéciale des isolants par un vernis.

3.5. L'utilisation des moteurs électriques en agriculture

Le tableau ci-dessous donne les puissances disponibles suivant les caractèristiques des courants les plus communément employés. La résistance des conducteurs, exprimée en ohms, qui entraîne une perte de tension en ligne, conditionne le calibrage des câbles d'amenée.

Le courant triphasé est transporté avec ou sans fil neutre :
— réseau 3 fils, généralement 380 volts pour les moteurs ;
— réseau 4 fils : triphasé + neutre entre l'une des phases et le neutre ; on a 220 V si 380 V entre phases ($380/\sqrt{3}$)
— réseau 5 fils : triphasé + neutre + terre (terre à ne pas confondre avec neutre).

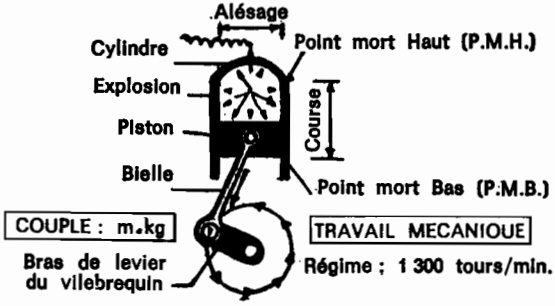
Applications	Puissances moyennes en ch	en kW	Vitesses tr/mn	Consommation en kWh
Hache-paille	0,75 à 1 ch	0,5 à 0,7	60	0,25 kWh pour 100 kg
Tarare	0,50 ch	0,47	60	0,05 kWh par quintal traité
Moteurs portatifs	0,75 à 1 ch	0,5 à 0,7	Vitesses mult.	Suivant puissance
Coupe-racines	1 à 3 ch	0,7 à 2	120/400	0,1 à 0,2 kWh pour 100 kg
Frigorifiques	1 à 3 ch	0,7 à 2	1500	1000 kWh/an pour 500 dm^3
Electro-pompe	1 à 15 ch	0,7 à 11	1500 à 3000	1 kWh/m^3 pompé à 30 m
Batteuse	10 à 25 ch	7 à 18	1500	0,6 à 1,2 kWh par quintal traité
Concasseur	3 à 5 ch	2 à 4	1500 à 3000	0,8 à 2,5 kWh pour 100 kg
Moteur sur brouette	3 à 8 ch	2 à 6	Vitesses mult.	Suivant puissance

4. LES MOTEURS THERMIQUES

4.1. Caractéristiques.

• **Cotes d'un moteur** :
— Alésage : diamètre du cylindre ;
— Course : distance parcourue par le piston entre le point mort haut (PMH) et le point mort bas (PMB).

— Cylindrée unitaire : volume balayé par un piston dans une course.
— Cylindrée = n cylindrées unitaires avec n = nombre de cylindres.
— Chambre de combustion : volume qui subsiste dans le cylindre lorsque le piston est au PMH.



• **Taux de compression volumétrique** =

$$\frac{\text{cylindrée unitaire} + \text{chambre de combustion}}{\text{chambre de combustion}}$$

• **La consommation horaire** d'un moteur se mesure en litres ou en grammes.

• **La consommation spécifique** est la consommation horaire en grammes rapportée au kilowatt

$$Cs = \frac{\text{Consommation horaire (en g)}}{\text{Puissance constante en kW}}$$

• **Le rendement** du moteur s'exprime par sa consommation spécifique, variable avec le régime et la charge.

Le rendement d'un moteur est d'autant plus élevé que son taux de compression est plus fort.

• **Le régime du moteur** est le nombre de tours du vilebrequin par minute.

4.2. Classification des moteurs thermiques

4 temps ou 2 temps

4.2.1. MOTEURS À ALLUMAGE COMMANDÉ ET CARBURATION PRÉALABLE (essence, pétrole, alcool, gaz)

Caractéristiques de l'essence carburant.

La densité de l'essence est voisine de 0,72.

C'est un mélange de produits de volatilités différentes.

L'essence ne doit pas exploser trop rapidement au moment de l'allumage pour ne pas provoquer un choc brutal sur le piston et la culasse. On caractérise cette résistance à la détonation par l'indice d'octane. Plus il est

élevé, plus l'essence est antidétonante. L'indice d'octane d'une bonne essence ordinaire est supérieur à 92.

(A titre d'exemple, les indices d'octanes respectifs de l'éthanol, du méthanol, du biogaz et du gaz pauvre de gazogène sont : 106, 110, 120 et 120).

4.2.2. MOTEURS SANS CARBURATION PRÉALABLE NI ALLUMAGE COMMANDÉ : Diesel (gas-oil, fuel-oil, huiles végétales)

Le combustible est injecté dans le cylindre par un injecteur travaillant sous pression.

En fin de compression, la température de l'air est de l'ordre de 400 à 600 °C, c'est-à-dire supérieure à la température d'inflammation spontanée des carburants. Un système d'allumage électrique est donc inutile.

Injecteurs. — L'injecteur est un « accumulateur » de combustible. Il libère brusquement ce dernier en le pulvérisant dès qu'une pression donnée (pression de tarage) est atteinte. On distingue :

— les injecteurs *à trous* qui équipent principalement les moteurs à injection directe. Ils équipent actuellement la majorité des moteurs Diesel agricoles ;

— les injecteurs *à téton* comportent un trou central de grand diamètre dans lequel un téton laisse un orifice annulaire « auto-nettoyeur ». Ces injecteurs conviennent surtout aux moteurs à injection directe.

La pression de tarage varie pour les moteurs Diesel de 170 à 200 kg/cm^2.

Pompes d'injection. – Quel que soit leur principe, les pompes d'injection sont des organes coûteux et délicats. On distingue :

— les pompes *en ligne* dans lesquelles il existe autant d'éléments de pompe que de cylindres à alimenter. Elles sont fiables ;

— les pompes *rotatives* dans lesquelles un seul élément de pompe alimente successivement tous les cylindres ; elles sont plus légères, moins coûteuses que les précédentes et moins encombrantes.

Combustibles Diesel. – Ce sont des produits pétroliers plus lourds que l'essence. On distingue deux combustibles :

— le *fuel-oil,* qui est un résidu de distillation et qui ne convient qu'aux moteurs diesel et semi-diesel à régime lent et à forte cylindrée ;

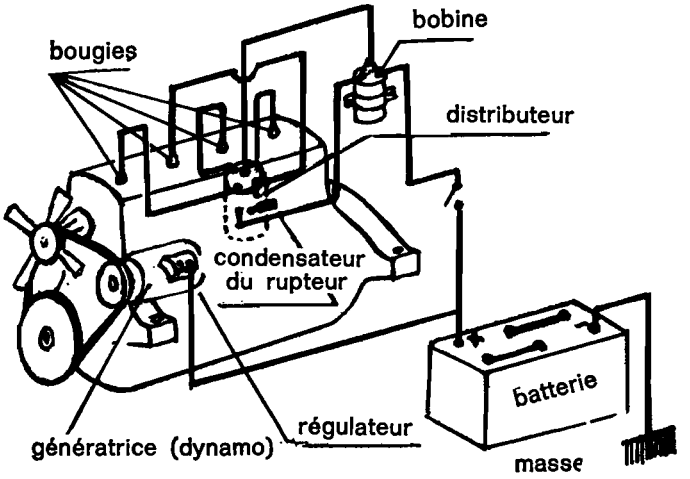
— le *gas-oil* qui est un distillat plus léger, moins riche en soufre (densité moyenne 0,82) et qui convient aux moteurs diesel rapides qui équipent à présent la quasi-totalité des tracteurs (1).

Lors de l'allumage du combustible, le « cognement » sera d'autant plus faible que le délai d'allumage après le début de l'injection sera plus court. C'est **l'indice de cétane** qui caractérise cette facilité d'inflammation. A un indice de cétane élevé (maximum 100) correspondra un combustible ayant une grande facilité d'inflammation. Le gas-oil ayant un indice de cétane de 50 satisfait largement aux conditions exigées par les moteurs à régime relativement modéré de l'ordre de 2 000 tr/mn à 2 500 tr/mn.

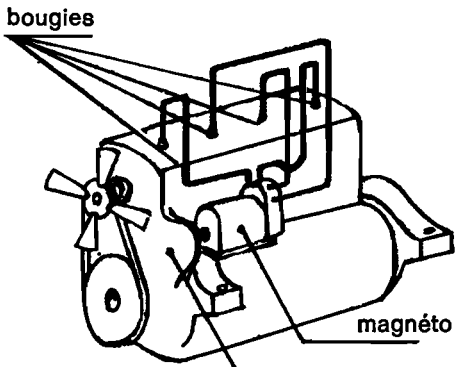
Filtres. – Un diesel 4 temps de 2 l de cylindrée tournant à 2 000 tr/mn aspire en une heure 120 m^3 d'air souvent poussiéreux (1 g et plus de matières

(1) Le fuel-oil domestique commercialisé en France est, malgré son nom, un gaz dénaturé pour des raisons fiscales et non techniques.

ALLUMAGE PAR BATTERIE



ALLUMAGE PAR MAGNETO



La magnéto est entraînée par un train de pignons sous carter

abrasives par mètre cube) ; les moteurs verraient leurs segments, pistons et cylindres rapidement usés si des filtres à air efficaces n'étaient pas utilisés et correctement entretenus.

De même, les carburants et les lubrifiants doivent être débarrassés de leurs impuretés pour ne pas détériorer le moteur ou les organes du circuit d'injection des moteurs Diesel ou le carburateur des moteurs à essence.

C'est pourquoi il faut se conformer strictement aux instructions du constructeur pour l'entretien ou le remplacement des filtres.

4.3. Comparaison des divers moteurs thermiques utilisés en agriculture

— **Le moteur à essence** s'est développé surtout sous la forme 4 temps car, à puissance égale, il consomme moins que sous la forme 2 temps. On trouve cependant des moteurs agricoles à essence à 2 temps pour les puissances de l'ordre de quelques chevaux.

				EXPLOSION	DIESEL
1re phase	Admission	Gaz introduit	Nature	Mélange air-carburant produit par pulvérisation libre dans le carburateur.	Air
			Quantité	Volume variable à richesse constante	Volume constant
2e phase	Compression	Taux de compression		5 à 12	14 à 22
		Pression en fin de compression		13 atm	40 atm
		Température en fin de compression		300° C	650° C
3e phase	Combustion	Mode d'inflammation		Etincelle électrique	Température due à la compression
		Carburant ou combustible		Essence, alcool pétrole, gaz	Gas-oil Huile végétale
		Expansion		Immédiate	progressive
4e phase	Echappement			Soupape (4 T) lumière (2 T)	Soupape
Vitesse moyenne de rotation				3 000 tr/mn	25 00 tr/mn
Variation de puissance				par celle de la masse air-carburant aspiré suivant un dosage	par celle de la quantité du combustible injecté

— **Le moteur Diesel** a pris une très grande importance dans ses versions 4 temps et 2 temps, partout où l'agriculture se motorise. Le moteur Diesel est par construction plus robuste que le moteur à essence et a un rendement plus élevé : il est plus coûteux à l'achat.

IV

LES TRACTEURS

1. CLASSIFICATION DES TRACTEURS AGRICOLES. PRINCIPES DE CHOIX

L'achat d'un tracteur doit faire l'objet d'une étude prélable soignée. En sus des aspects techniques et commerciaux (existence d'un service après-vente), il est nécessaire de faire une étude de la rentabilité en fonction des temps d'utilisation et des puissances nécessaires.

En tenant compte de l'effort de traction d'une part et de la vitesse d'exécution des divers travaux demandés d'autre part, on peut déterminer les besoins de l'exploitation et avoir ainsi un premier repère pour choisir la puissance du tracteur.

Les petites exploitations peuvent avoir avantage à s'équiper avec un tracteur polyvalent, léger en poids mais dont on peut améliorer l'adhérence et le rendement ; elles se trouvent ainsi devant un investissement plus limité.

Dans les exploitations plus importantes, on peut avoir avantage à associer les tracteurs légers pour transports et façons superficielles, soit aux tracteurs lourds, soit aux chenillards.

On n'oubliera pas que la motorisation pose de nombreux problèmes souvent difficiles à résoudre actuellement en Afrique tropicale :

— approvisionnement en pièces de rechange (stock de dépannage première urgence à prévoir) ;
— organisation de chantier et de conduite (travail fréquent dans de mauvaises conditions avec surcharges excessives) ;
— formation du personnel pour un entretien soigné ;
— possibilités de réparation, etc. ;
— enfin, coût de fonctionnement et d'amortissement.

1.1. Tracteurs à roues

— Deux roues motrices AR, deux roues directives AV de diamètre inférieur aux précédents,
— deux roues motrices AR, deux roues motrices et directrices AV, de diamètre inférieur. Transmission complémentaire mécanique ou hydraulique,
— quatre roues motrices de diamètres égaux, tracteurs articulés entre trains AV et AR ou au niveau directement des roues. Transmission hydraulique le plus souvent.

Quelques caractéristiques actuelles. A titre d'exemples.

		Tracteurs Diesel :
Puissance prise de force en puissances agricoles	=	30 kW à 130 kW
Poids en ordre de marche	=	2 800 kg à 7 200 kg

Empatement	=	2 m à 2,80 m
Effort de levage (3 points AR)	=	1 840 daN à 6 600 daN
Nombre de vitesses	=	8 à 16.

1.2. Tracteurs à chenilles

Ils peuvent être classés en :
— tracteurs légers ;
— tracteurs pour gros travaux agricoles ;
— tracteurs de génie civil.

CARACTERISTIQUES DES TRACTEURS A CHENILLES

	Groupe 1 (Tracteurs légers)	Groupe 2 (Gros travaux agricoles)	Groupe 3 (Terrassement Défrichement)
Puissance nominale (kW)	37-52	100-120	170-300
Puissance à la barre (kW)		70-95	130-170
Effort maximal de traction (daN)	6 000-10 000	15 000 à 24 000 environ	25 000 à 60 000 environ
Consommation (q/kW/h)		230 g/kW/h	230 g/kW/h
Poids en ordre de marche (t)	5-8	13 à 15	20 à 27
Longueur hors tout (m)	2,8-4	4,20 à 5,00 (avec dozer)	5,00 à 6,75 (avec dozer)
Largeur hors tout (m)	1,50 à 2,40	2,40 à 3,84 (idem)	2,80 à 4,50 (idem)
Dégagement au sol (m)		environ 0,35	0,35 à 0,60
Voie (m)		environ 1,90	environ 2,20
Rayon de braquage (m)		environ 2,80	environ 3,20
Largeur des chenilles (m)		0,51 à 0,56	0,56 à 0,65
Portée des chenilles (m)		2,20 à 2,40	3,00 à 3,50
Pression au sol (kg/cm^3)		0,500 à 0,600	0,600 à 0,660

1.3. Motoculteurs

Le motoculteur, appelé parfois tracteur mono-axe ou tracteur à deux roues, se différencie du tracteur proprement dit par :

— sa puissance nominale : plus employé pour les puissances supérieures à 5 kW. Dans les matériels asiatiques, on trouve des engins atteignant 13-14 kW ;
— sa direction assurée par le conducteur marchant à pied.

Les instruments peuvent être les mêmes que ceux notés sur un tracteur mais d'emprise réduite. En raison de la faible adhérence du motoculteur, on remplace souvent les outils inanimés (charrues) par des outils entraînés mécaniquement (fraises).

1.4. La motohoue

C'est un motoculteur léger sans roues, sur lequel des outils rotatifs servent à la fois au travail du sol et au déplacement de l'engin. Un motoculteur est parfois transformable en motohoue et inversement. Cependant, les motohoues sont de faible puissance : 1,5 à 5 kW.

1.5. La motofaucheuse

Elle peut être comparée du point de vue construction à un motoculteur, mais où l'outil classique normalement monté à l'arrière est remplacé par un outil avant constitué par une barre de coupe. Celle-ci peut être à commande latérale ou axiale. Dans certains cas, on peut monter un dispositif lieur ou javeleur.

1.6. Motorisation intermédiaire

Destinée essentiellement aux exploitations individuelles, cette forme de motorisation répond aux critères suivants :

— construction, entretien et réparation accessibles au niveau technologique du pays ;
— facilité d'utilisation ;
— adaptation aux cultures et aux exploitations (exemple : garde au sol d'au moins 50 cm pour les tracteurs).

Les termes peuvent recouvrir deux cas :

• Général : Des équipements (tracteurs et motoculteurs) de moins de 30 ch, dont les caractéristiques permettent d'envisager une appropriation avantageuse pour les agriculteurs.

• Particulier : La motorisation intermédiaire désigne plus spécialement un ensemble d'initiatives prises par des pays comme la France, les Philippines, les USA, le Swaziland, le Togo, etc. visant à mettre en place des engins de puissance comprise entre 15 et 30 ch, de technologie peu sophistiquée, ...dans des exploitations individuelles, africaines notamment. L'expérience,

démarrée dans les années 70-77, se poursuit actuellement (Exemple : tracteurs TE CFDT en Afrique de l'Ouest, Tinkabi au Swaziland...).

2. CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

2.1. L'embrayage

L'embrayage destiné à mettre le moteur en charge progressivement, peut être du type mono ou multidisques. Il peut fonctionner à sec, ou dans l'huile dans le cas de disques métalliques multiples.

— L'embrayage simple effet : généralement du type mécanique monodisque travaillant à sec. Lorsque la prise de force est commandée par l'arbre de sortie de la boîte de vitesse, elle est solidaire des roues : sa vitesse est proportionnelle à la vitesse d'avancement du tracteur. La prise de force indépendante est rendue possible par un embrayage séparé.

— L'embrayage double effet : associe dans une même boîte les transmissions séparées de la prise de force et de l'essieu moteur. La même pédale désaccouple le moteur de la boîte de vitesses dans un deuxième temps.

L'embrayage bi-disques indépendants :

Ces embrayages sont physiquement regroupés en un seul élément. Ils se composent d'un embrayage agissant sur l'avancement et d'un embrayage agissant pour la prise de force. Les commandes de ces deux embrayages sont indépendantes.

L'embrayage multidisques à bain d'huile :

Cet embrayage placé sur l'arbre de la prise de force, rend celle-ci totalement indépendante. Ce système est surtout utilisé sur les tracteurs de forte puissance.

2.2. La boîte de vitesses

Il existe des boîtes ayant 6-8 vitesses en équipement de base, voire davantage. Lorsqu'elles sont munies d'inverseur, elles permettent autant de vitesses arrière que de vitesses avant.

Notons l'intérêt que présentent les vitesses rampantes pour l'exécution de certains travaux : plantation, passage d'instruments rotatifs, défense des cultures, etc.

Vitesses d'avancement : elles sont très variables suivant les types de tracteurs et l'emploi auquel ils sont destinés.

Les tracteurs agricoles sont parfois équipés d'amplificateurs de traction. Ce système permet sans utiliser la pédale d'embrayage d'avancement, de réduire la vitesse d'avancement d'environ 33 % si l'effort demandé augmente en un instant « t ». La réduction de vitesse est obtenue par l'action d'une commande à assistance hydraulique (embrayage multidisques à bain d'huile) agissant sur un terrain épicycloïdal ou des trains d'engrenages toujours en prise.

Motorisation intermédiaire

Type	Puissance (kW)	Poids (kg)	RENDEMENTS (m^2/h)				Marques
			Labour (1)	Ameublissement (1)	Sarclage	Broyage	
Motoculteurs Motohoues	3,6-6	50-250	350-500 (à 13 cm)	350-750 (à 7 cm)	—	—	Staub, Bouyer, Motostandard, etc.
Motoculteurs	6-13	200-550	400-750 (13 à 17 cm)	400-1 000 (à 15 cm)	—	500-1 000	Bouyer, Howard, etc.
Mototracteurs	13-30	500-850	500-800 (15 à 18 cm)	1 000-2 500	2 000-3 500	—	Mouzon-Satec, Bouyer, etc.
Tracteurs	9-15	700-1 100	500-1 200 (15 cm) 500-800 (22 cm)	1 000-2 500	2 000-3 500	500-1 500 (3)	Bouyer-Agrale, Tinkabi
	11-22	1 000-1 600	700-2 000 (15 cm)	1 500-4 000	3 500	1 500-3 000 (2)	Fiat, Afcom, Goodearth...

(1) Profondeurs de travail indiquées entre parenthèses.
(2) Gyrobroyeur.
(3) Broyeur à fléaux.

2.3. Les freins

Sur les tracteurs à roues, le rayon de braquage peut être diminué par freinage sélectif sur la roue motrice inférieure, grâce à l'action indépendante de deux commandes de freins, mais sur route les deux commandes sont rendues solidaires.

Sur les tracteurs à moyeux fixes, les freins sont le plus souvent du type à expansion, à commande hydraulique ou mécanique. Parfois on dispose de freins à disques ou de freins à contraction sur l'arbre de sortie du différentiel.

Sur les tracteurs à chenilles, la direction est assurée par ralentissement de la chenille intérieure au virage soit par freinage (avec différentiel), soit par débrayage (sans différentiel), ce dernier systéme est plus simple.

2.4. Système d'attelage et prise de force

2.4.1. ATTELAGE FIXE PAR CROCHET OU BARRE

Ces dispositifs sont aussi anciens que les tracteurs eux-mêmes. Ils permettent de remorquer toutes les catégories d'instruments traînés, ainsi que les remorques. Sauf dans des cas particuliers (attelage d'une remorque semi-portée) l'instrument tracté a peu de conséquence sur la répartition du poids du tracteur.

2.4.2. ATTELAGE DES OUTILS PORTÉS OU SEMI-PORTÉS

Ces modes d'attelage sont généralisés sur tous les tracteurs modernes. Ils ont tous pour conséquence essentielle de reporter sur l'essieu moteur du tracteur une fraction du poids de l'outil et de sa résistance à l'avancement. Outre les attelages à articulation unique sous le tracteur qui sont de moins en moins utilisés, on trouve surtout : l'attelage trois points à relevage hydraulique qui est constitué par (voir figure page suivante) :

— deux bras inférieurs ou barres de traction portant à leur extrémité libre des rotules qui viennent se fixer par brochage sur l'outil ;
— deux bras de relevage, chacun d'eux étant relié au bras inférieur dont il commande le relevage par une bielle ;
— un troisième point relié au tracteur par la bielle supérieure.

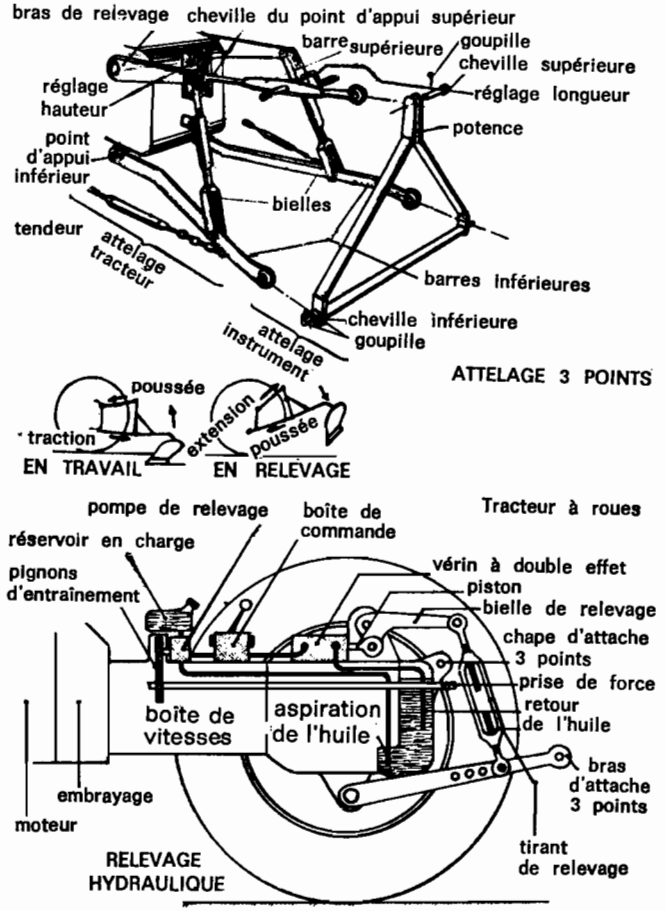
L'ensemble constitue une liaison déformable qui permet le relevage et le terrage de l'outil porté et semi-porté.

Les bras de relevage sont commandés hydrauliquement par un système plus ou moins complexe comportant essentiellement :

- un réservoir d'huile,
- une pompe de mise sous pression,
- un boîtier de commande-distributeur,
- un ou plusieurs vérins.

Les relevages à simple effet (n'exerçant un effort que de bas en haut) peuvent être :

— à asservissement mécanique ou affichage de position : à toute position de la manette de commande correspond une position déterminée de la hauteur de l'outil ;



— à contrôle de profondeur : pour maintenir une profondeur de travail constante même en terrain très cahoteux ;
— à contrôle d'effort : l'outil s'enfonce d'autant plus que le sol est léger et inversement ;
— à report de charge à commande manuelle : en conditions difficiles une partie de l'effort du poids de l'outil et de sa résistance à l'avancement est reportée sur l'essieu moteur.

Un tracteur moderne peut posséder simultanément plusieurs des caractéristiques ci-dessus, ainsi qu'une position libre dite « attelage flottant ».

Les relevages à double effet peuvent avoir les mêmes possibilités avec, en plus, la commande positive de la descente des outils (système peu développé).

Les relevages mécaniques, actionnés par des tambours entraînant des câbles d'acier, sont utilisés surtout dans les engins de terrassement.

2.4.3. PRISE DE FORCE

Sortie de puissance soit indépendante, soit proportionnelle à l'avancement, constituée par un bout d'arbre cannelé mâle sur lequel s'adapte le manchon cannelé femelle commandant l'arbre à cardans de la machine réceptrice.

Les cannelures, le sens de rotation et la vitesse de rotation sont normalisés.

Les manchons de sortie prise de force ou plus précisément de puissance sont :

- à 6 ou à 21 cannelures et quelquefois à 20 cannelures.

Les régimes normalisés sont de 540 et 1 000 tr/mn :

540 tr/mn 6 cannelures 0 1″ 3/8 tracteur (48 kW (65ch) ;
540 tr/mn 6 cannelures 0 1″ 3/4 tracteur (92 kW (125ch) ;
1 000 tr/mn 6 cannelures 0 1″ 3/8 tracteur (92 kW (125ch) ;
1 000 tr/mn 6 cannelures 0 1″ 3/4 tracteur (92 kW (125ch) ;
1 000 tr/mn 21 cannelures 0 1″ 3/8 tracteur (92 kW (125ch) ;
(*)1 000 tr/mn 20 cannelures 0 1″ 3/4 tracteur (185 kW (250 ch).

(*) : peu développée

Il existe parfois des prises de force secondaires (toujours indépendantes).

La poulie, de moins en moins employée, est montée sur la sortie de prise de force principale.

2.5. Les roues et les pneumatiques

Généralement équipés de pneumatiques, les tracteurs à roues ont parfois avantage à être dotés de roues métalliques (dans les zones mal dessouchées ou à épineux) ou de roues-cages (ou squelettes) pour certains travaux en terre peu portante et pour des façons spéciales (riziculture inondée).

Dimensions normalisées des pneumatiques :

Les tracteurs sont équipés normalement de pneus « agricoles », différents des pneus utilitaires qu'il est cependant parfois intéressant de monter sur les roues avant.

Pour certaines utilisations en sol peu portant, on peut utiliser des roues jumelées avec barillet. Pour les autres moyens d'augmenter l'adhérence, se reporter au tableau page suivante.

Les dimensions indiquent la largeur transversale de l'enveloppe et le diamètre de la jante. Lorsque les deux nombres sont séparés par une croix, l'unité est métrique ; lorsque la séparation est un tiret, l'unité est le pouce (1 pouce ou 1″ = 25,4 mm).

TABLEAU DES CARACTERISTIQUES DES PNEUMATIQUES LES PLUS COURANTS

(mesures en pouces pour les dimensions d'enveloppe)

Appellation des enveloppes		Charge maxi S/enveloppe arrière	Pression en kg/cm²
Avant	Arrière		
6-16	12-28	1125 kg	1,10
6-16	10-28	1150 kg	1,75
5,50-16	10-28	1150 kg	1,75
6-16	11-28	1000 kg	1,10
6,50-20	13-28	1590 kg	1,30
6-19	11-36	1125 kg	1,10

2.6. Les accessoires

— Les indicateurs de bord :

Les indicateurs de bord électriques permettent de contrôler : la charge de la batterie, la quantité de carburant dans le réservoir, la pression d'huile, le colmatage des filtres à air sec, les indicateurs d'éclairage et de direction, etc.

— Les compte-tours :

Ceux-ci sont indispensables et doivent rester en bon état de fonctionnement. Ils permettent de contrôler le régime du moteur et de la prise de force. Ceci étant nécessaire pour certains travaux agricoles (pulvérisation, épandage d'engrais...).

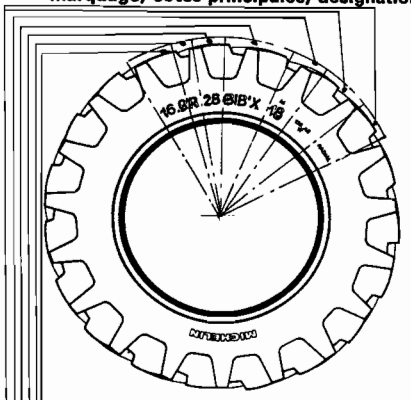
L'équipement électrique :

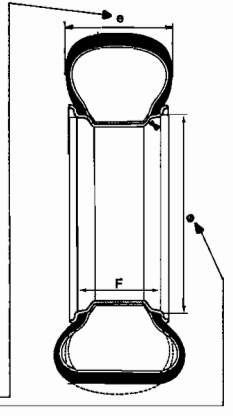
Il comprend :

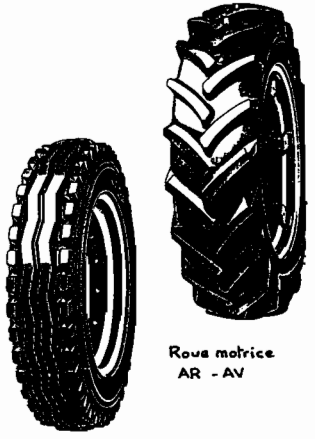
- une dynamo ou un alternateur munis d'un régulateur de tension,
- un conjoncteur-disjoncteur qui a pour rôle d'empêcher que la batterie ne se décharge dans la génératrice,
- une batterie d'accumulateurs, réservoir d'énergie électrique,
- un démarreur électrique (le plus souvent),
- des phares et feux divers.

L'ensemble est protégé par des fusibles et relié par des canalisations électriques. En pays humides et chauds, l'équipement électrique doit être **tropicalisé** par vernis isolant spécial afin d'éviter des dégradations rapides.

Indication des pneus et jantes, pour roues motrices
marquage, cotes principales, désignation







Roue motrice
AR - AV

Roue directrice AV

— **exemple de marquage du pneu :**
- 16.9 = encombrement transversal nominal en pouces
- R = radial
- 28 = diamètre au en pouces
- BIB'X = désignation du pneu propre au fabricant
- M 18 = type de sculpture
- 136 = indice de capacité de charge par pneu : (136 = 2240 kg) ; autre désignation **PR 8**
- A8 = symbole de vitesse en km/h : (A8 = 40 km/h)
- ★ = repère d'utilisation

— **désignation pneu :** 16.9 R 28 BIB'X M18 136 A8 ★

— **désignation Jante :** W 15 L x 28

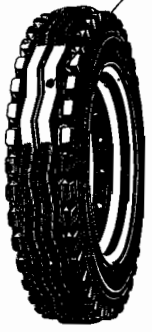
— **exemple de marquage de la jante :**
- W = profil de la jante
- 15 L = largeur intérieure en pouces (F)
- 28 = diamètre au seat en pouces (Ø)

— **cotes principales du pneu**
- e = encombrement transversal maximum du pneu
- Ø = diamètre au (talon)

— **cotes principales de la jante**
- Ø = diamètre au talon
- F = largeur intérieure

PLY RATING (PR)
Indice de capacité de charge par pneu

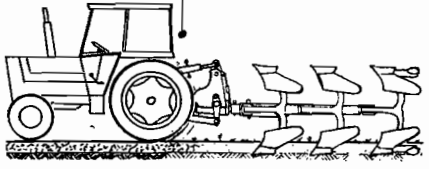
PRESSION DES PNEUMATIQUES

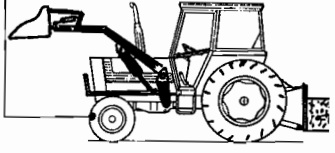


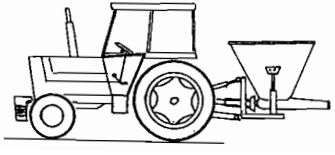
		Pneus Avant			Pneus Arrière	
		R 781	R 781-4		R 781 et R 781-4	
		7.50/18	13.6/24	11.2/28*	16.9/34	13.6/38*
Ply Rating	(PR)	6	8	6	6	6
DUNLOP	MINI labour	-	-	-	0,8	0,7
	MAXI Champ	-	-	-	0,9	1,1
	MAXI Route	-	2,5	-	1,3	1,5
GOOD-YEAR	MINI labour	-	-	0,8	1,1	0,9
	MAXI Champ	-	-	1,3	1,7	1,6
	MAXI Route	-	-	1,8	2,2	2,0
KLEBER	MINI labour	-	0,9	0,8	1,1	0,9
	MAXI Champ		2,0	1,8	1,3	1,6
	MAXI Route	2,1	2,4	2,2	1,7	2,0
MICHELIN	MINI labour	1,0	-	1,1	1,1	1,1
	MAXI Champ	-	-	1,8	1,3	1,6
	MAXI Route	2,25	-	2,4	1,6	2,0

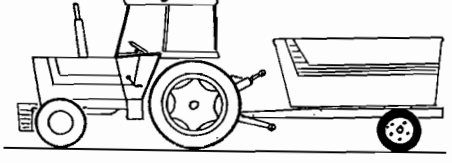
* Pneumatiques optionnels.











— Capacité des réservoirs (carburant - carters d'huile) : des réservoirs, carters, radiateurs de grande capacité constituent un avantage appréciable en pays chauds.
— Compteur horaire : utile pour le contrôle des temps de travaux et l'établissement du prix de revient.
— Système de démarrage (électrique, à inertie ou à moteur auxiliaire pour les diesels).

2.7. Le dégagement et la voie

Certains travaux en interligne nécessitent des tracteurs de faibles dimensions hors tout mais qui présentent l'inconvénient de donner à l'engin une mauvaise stabilité latèrale sur sols en pente.

Tracteur standard			Tracteur « vigneron »
Voie standard	Voie mini.	Voie maxi.	
1,20 m-1,80 m	(par retournement de flasques) 0,70 m-0,80 m	2,40	0,73 m - 0,90 m

On préfère la solution des tracteurs enjambeurs souvent à voie réglable.

	Tracteur standard	« High clearance »	Tracteur enjambeur
Dégagement	jusqu'à 65 cm	75 - 90 cm	115 - 180 cm

Certaines marques proposent des châssis enjambeurs pour tracteur standard.

2.8. La puissance

Un tracteur doit être adapté aux travaux qui lui sont demandés en particulier en ce qui concerne sa puissance à une vitesse donnée.
Il est indispensable d'étudier de près les spécifications du constructeur à ce sujet lors de l'achat.

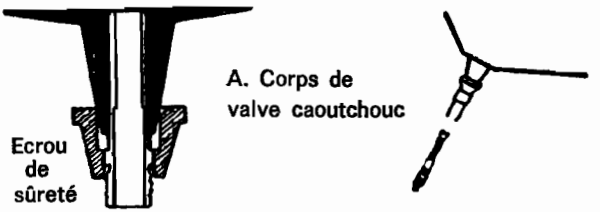
2.8.1. PUISSANCES ET POSSIBILITÉS D'UN TRACTEUR

On distingue :
Puissance nominale : c'est la puissance maximale que peut fournir le moteur au régime nominal (celui-ci étant le régime extrême pouvant être

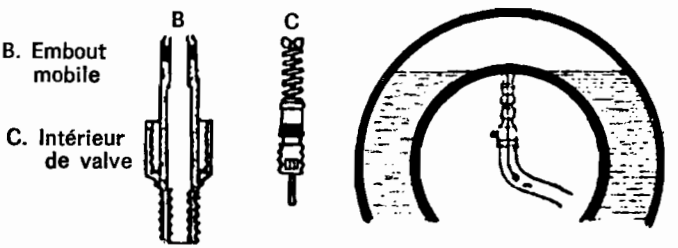
PRATIQUE DU LESTAGE A L'EAU

Principe 75 % d'eau - 25 % d'air à pression normale

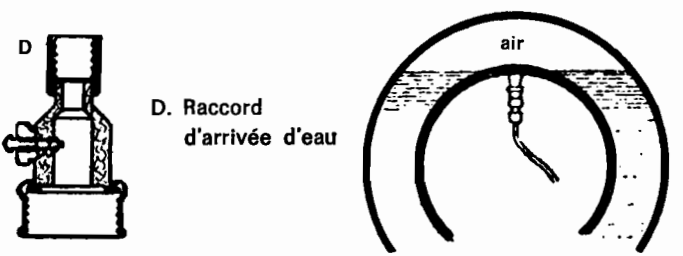
1) Le tracteur étant sur un cric, amener la valve au niveau désiré, retirer l'embout mobile B avec son intérieur de valve C.



2) Brancher le raccord d'eau D, remplir d'eau au niveau de la valve.



3) Débrancher le raccord d'eau et laisser évacuer le trop plein. Remettre l'embout mobile B avec son intérieur de valve C. Enfin, gonfler à la pression indiquée.



Document KLEBER-COLOMBES sur le gonflage à l'eau

atteint à pleine charge). L'utilisation normale du tracteur se situe à 70/80 % de la puissance nominale.

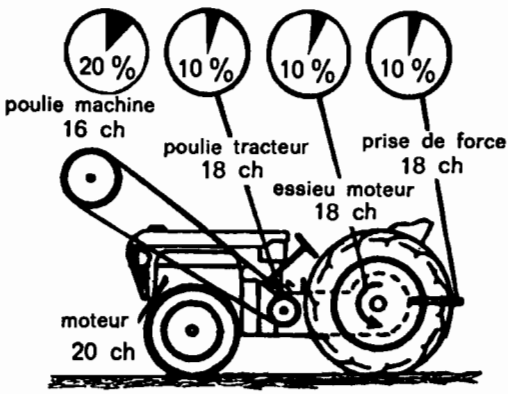
Puissance de la poulie : c'est la puissance qu'on peut recueillir par l'intermédiaire d'une courroie montée sur la poulie d'un tracteur (parfois adaptable sur demande). Elle est peu inférieure à la puissance nominale et sert souvent à estimer cette dernière. A noter que 85 à 90 % seulement en seront transmis à la machine utilisatrice (glissement de la courroie).

Puissance à la prise de force : c'est celle qu'on peut transmettre grâce au montage d'un arbre de transmission sur l'arbre cannelé. Elle est en général confondue avec la précédente.

— **Puissance aux roues motrices** (ou à la jante) : c'est la puissance nominale diminuée des pertes dans l'ensemble des transmissions (embrayage, boîte de vitesses, différentiel, réducteurs). On l'estime à 90 % de la puissance nominale (lorsque la prise de force n'est pas utilisée simultanément).

— **Puissance à la barre** (appelée improprement parfois puissance de traction). Elle est bien inférieure à la puissance aux roues par suite du glissement des roues du tracteur et de la résistance au roulement sur un sol agricole.

C'est pourtant cette puissance à la barre qui est souvent la seule intéressante lorsqu'il s'agit de tracter un outil (charrue).



Pour mieux comprendre ce qu'est la puissance à la barre, il faut rappeler que la puissance dépend de l'effort de traction F et de la vitesse de déplacement V :

$$P_w = F(N) \times V\ (m/s)$$

ou $Pkw = F\ (N) \times V\ (m/s) \times 10^{-3}$

Or pratiquement, l'effort de traction F est limité **uniquement** par l'adhérence et **aucunement** par la puissance du moteur (lorsque la boîte de vitesses est bien étagée). Les phénomènes de glissement ont en effet un rôle important dans l'utilisation pratique.

TABLEAU DES PERTES DE RENDEMENT DANS LES TRANSMISSIONS D'UN TRACTEUR ET DES CONSOMMATIONS SPECIFIQUES CORRESPONDANTES

(en g par ch utilisé et par heure)

Organes d'utilisation	Rendements mécaniques moyens par rapport à la puissance du moteur (1)	Consommation spécifique g/ch/h					
		Diesel		Essence		Semi-diesel	
		Pleine charge	1/2 charge	Pleine charge	1/2 charge	Pleine charge	1/2 charge
Moteur	100 %	180	200	280	410	315	270
Prise de force	95 %	190	210	295	430	330	290
Poulie tracteur	95 %	190	210	295	430	(2)	(2)
Poulie machine	87 %	203	225	314	460		
Essieu moteur	90 %	200	220	305	450	345	295

(1) Rendement des transmissions $= \dfrac{\text{Puissance utilisable}}{\text{Puissance fournie}}$

(2) NOTA : pour tous les tracteurs avec moteur à vilebrequin transversal (tous les semi-diesel en particulier), la puissance à la poulie représente la puissance du moteur.

N.B. : Ce tableau n'est pas rédigé en unités normalisées. On rappelle qu'il conviendrait de noter les consommations en kg/watt (plus commodément par kW) et par seconde (plus habituellement par heure).

EFFORT A LA BARRE SELON L'ADHERENCE

(tracteurs à roues)

Nature du sol	Pourcentage du poids sur l'essieu-moteur
Macadam sec	80 - 95 %
— mouillé	75 - 85 %
Prairie	60 - 70 %
Terre cultivée	30 - 40 %
— molle	20 - 30 %

On voit donc qu'en terre molle, et lorsqu'il n'est pas possible de compenser le faible effort par une vitesse accrue (c'est le cas du labour) la puissance à la barre sera trois ou quatre fois inférieure à celle qui peut être développée sur du macadam sec.

Exemple pratique : Tracteur de 45 ch de puissance nominale. Poids sur roues arrière : 1 800 kg. Effort possible en terre molle (25 %) : 450 kg. Vitesse d'avancement 2 m/s ou 7,2 km/h.

— Puissance sur macadam sec (transport) :

P(w) = 1 620 x 10 N x 2 m/s = 32 400 W (1)

PkW = 32,4 kW

— Puissance sur terre molle (labour) :

P(w) = 450 x 10 x 2 m/s = 9 000 W (1)

= 9 kW.

Rappel : 1 kgf = 1 daN = 10 N.

Si l'on admet que le rendement de l'ensemble tracteur-charrue est de 50 % (effort de roulement + glissement + rendement des transmissions), à cette puissance à la barre correspondra une puissance nominale d'environ 25 ch.

En résumé, on peut dire que pour un tracteur :

— l'effort de traction (qui détermine l'emprise des outils à choisir) est une question d'adhérence ;

— la vitesse d'avancement est une question de puissance.

Ceci explique :

— qu'à puissance égale un tracteur à chenilles dont l'adhérence est excellente, pourra tirer une charrue à 4 disques alors qu'un tracteur à roues ne pourra traîner par exemple que deux disques. La puissance du tracteur à roues est mieux utilisée avec les outils portés ;

— qu'un tracteur lourd (50-70 kg de poids par cheval) aura une vitesse optimale lente : 3,15 à 8,3 km/h, alors qu'un tracteur léger (25-35 kg/ch) sera un tracteur rapide : vitesse optimale 6,3 à 12,6 km/h.

Ceci amène également à essayer d'améliorer l'adhérence par divers moyens résumés dans le tableau.

La résistance au roulement est fonction du poids remorqué, des conditions de sol et de pente ; on admet, en terrain plat, les résistances au roulement suivantes :

macadam	3 %
prairie	5 %
terre cultivée	9 %
terre molle	20 %

et la résistance spécifique du sol correspond aux valeurs suivantes :

en sol sableux	28 kg/dm²
en sol argileux moyen	63 à 84 kg/dm²
en sol argileux lourd	112 kg/dm²

2.8.2. MOYENS PRATIQUES POUR AMELIORER L'ADHERENCE

Mode d'action			Moyens-types	Utilisation recommandée	Combinaisons	
					recommandées	déconseillées
modification des roues (surtout sur terre de bonne cohésion Ex.: terre argileuse)	utilisation de la cohésion de la terre	en profondeur	chaînes d'adhérence crampons, roues squelettes	travaux à vitesse lente sur terre argileuse très meuble en surface ou très dure et lisse	avec pneus larges	avec augmentation de la charge
		en surface	pneus larges pneus à carcasse spéciale jumelage roues cages semi-chenilles	travaux difficiles à vitesse rapide, sur terre argileuse humide en profondeur	avec chaînes d'adhérence ou crampons à vitesse lente avec augmentation de la charge (moins de tassement)	avec chaînes d'adhérence ou crampons à vitesse rapide
augmentation de la charge sur les roues motrices (surtout sur les terres de faible cohésion Ex.: terre argileuse gorgée d'eau ou terre très sablonneuse)	directe par poids mort		masses gonflage à l'eau Cf. pp. 408-409	travaux difficiles à vitesse lente avec outil traîné	avec pneus larges et augmentation de la charge par l'outil ou l'attelage	
	indirecte	par poids de l'outil	outil porté ou semi-porté transfert de charge hydraulique	travaux difficiles avec tracteurs lourds à l'avant et d'un grand empattement	avec pneus larges et augmentation de la charge par masses d'alourdissement ou gonflage à l'eau	
		par réaction en traction	modification attelage sur le tracteur et sur l'outil			

2.8.3. INFLUENCE DE LA NATURE DES SOLS SUR LES CONDITIONS D'UTILISATION DES TRACTEURS A ROUES AVEC PNEUMATIQUES.

Le tableau ci-dessous donne quelques indications sur les conditions de travail en terrains divers et quelques conseils pour tirer le meilleur parti de la puissance de l'engin.

Type de sol	Perte de roulement	Perte de glissement	Effort de traction possible	Rapport optimum de la puissance à la barre à la puissance au moteur	Utilisation optimum du tracteur en traction	Moyens d'améliorer les conditions d'utilisation.
Sol dur cohérent, sol agricole tassé sec	Faible	Passage sans transition d'un glissement faible au patinage total aux grands efforts de traction	Elevé de l'ordre de 70 à 75 % du poids du tracteur	Elevé de l'ordre de 80 % en raison de la faible valeur du roulement	Effort de traction élevé, mais la perte de roulement étant faible, le rendement reste bon aux grandes vitesses et aux faibles efforts	La pression des pneumatiques doit être la pression « route » et, en transport, le poids du tracteur suffisant pour lui assurer une bonne stabilité de freinage.
Sol plastique ressuyé (sol de prairie sain)	Moyenne	Passage progressif d'un glissement faible à un glissement élevé lorsque l'effort de traction s'accroit	Plus élevé que le chiffre précédent surtout avec des outils portés	Moins élevé que le chiffre précédent en raison d'un roulement et d'un glissement plus élevés	A vitesse moyenne et gros efforts de traction	Etablir la pression correcte dans les pneumatiques. Alourdir le tracteur pour les travaux à faible vitesse et gros efforts de traction. L'alléger au maximum dans le cas contraire. En labour avec charrue portée, un relevage avec transfert de charge est intéressant, car il évite d'utiliser des masses d'alourdissement trop importantes. Utiliser le blocage de différentiel en cas de besoin.
Sol plastique détrempé (chantier de débardage sur terrain argileux détrempé par ex.)	Forte	Glissement élevé pour de faibles efforts de traction. En outre, le glissement est instable	Faible : inférieur à 50 % du poids du tracteur	Faible, car en dehors des pertes élevées par glissement et roulement les roues ne peuvent transmettre toute la puissance disponible au moteur	L'effort demandé ne doit pas provoquer de glissement exagéré.	Augmenter la surface d'appui (faible pression de gonflage, utilisation de roues jumelées, etc.), charger le tracteur en fonction de la portance du sol. Utiliser le blocage de différentiel.
Sol pulvérulent (sol sableux squelettique, sol agricole émietté sec)	Forte	Le glissement croît proportionnellement à l'effort de traction	Possibilité d'obtenir des efforts relativement importants au prix d'un fort glissement et à condition que le tracteur ne s'enfonce pas	Faible en raison des pertes, mais la puissance demandée au moteur peut être plus élevée que dans le cas précédent.	Vitesse réduite, d'autre part il n'est pas possible d'obtenir d'effort notable sans glissement important.	Mêmes remarques que ci-dessus. L'usage de pneumatiques à carcasses en arceaux est intéressant, en particulier dans ce cas. Inverser les roues motrices de manière à disposer les chevrons en sens contraire de la normale. Utiliser le blocage de différentiel.

2.8.4. PUISSANCES NECESSAIRES POUR L'EXECUTION DE CERTAINS TRAVAUX

TRAVAIL	MATERIEL utilisé	Traction généralement nécessaire en conditions moyennes sur terre franche	
		Traction chevaline (nombre de chevaux)	Traction mécanique (puissance nominale en ch)
Labour 25 cm	1 soc	2	18 à 22, voire 25
	2 socs	3	28 à 35, voire 40
	3 socs	—	40 à 45, voire 55
Labour 12 à 15 cm	1 soc	2	15 à 18
	2 socs	2 à 3	20 à 25
	3 socs	—	30 à 35
Labour 8 à 10 cm	2 socs	2	15 à 18
	3 socs	2	
	4 socs	3	25 à 30
	5 socs	—	35 à 40
Hersage moyen	2,50 m	1 à 2	15 à 18
	3 m	2 à 3	22 à 25
	5 m	—	30 à 35
	8 m	—	40
Roulage	1,50 m	1	12
	2,50 m	2	15 à 18
	3 m	3	22 à 25
	5 m	—	30 à 35
	8 m	—	40
Canadiennage (10 cm de profondeur)	1,30 m ou 7 dents	2	10
	1,50 m ou 11 dents	2 à 3	12 à 15
	1,75 m ou 13 dents	3	18 à 22
	2 m ou 15 dents	—	25 à 30
	2,50 m	—	35
Pulvérisage (matériels traînés)	simple tandem 6 à 8 disques	2	15 à 18
	simple tandem 8 à 12 disques	2	18 à 22
	double tandem 16 disques	—	22 à 28
	double tandem 24 disques	—	28 à 35
	double tandem 32 disques	—	35 à 40
	off-set 12 disques	—	35 à 40
	off-set 20 disques	—	50

(suite 2.8.4.)

NB : Ce tableau n'est pas libellé en unités normalisées. On rappelle qu'il conviendrait de noter les puissances en watt (plus commodément en kW — 1 kW = 1,36 ch).

(suite 2.8.4.)

TRAVAIL	MATERIEL utilisé	Traction généralement nécessaire en conditions moyennes sur terre franche	
		Traction chevaline (nombre de chevaux)	Traction mécanique (puissance nominale en ch)
Semis en lignes	2 m	2	18 à 22
	3 m	3	28 à 35
	4 m	—	35 à 40
Epandage d'engrais (types classiques)	2,50 m	2	22 à 25
	3 m	2	28 à 35
	4 m	3	35 à 40
Plantation de pommes de terre	1 rang	1 ou 2	12
	2 rangs	2	15 à 18
	4 rangs	—	25 à 30
Binage	3 rangs	2	12 à 18
	4 rangs	2	18 à 25
	6 rangs	—	30 à 35
Buttage	1 rang	1	—
	3 rangs	—	22 à 25
	4 rangs	—	25 à 30
Fauchage	1,35 m	1 à 2	12
	1,50 m	2	12
	1,80 m	—	15 à 18
Fanage (à tambour)	2,10 m	1	12
	2,50 m	—	15 à 18
Andainage (à peignes)	2 m	1	12
	3 m	—	15 à 18
Pressage-ramassage (à prise de force)	3 T/h	1 (moteur auxiliaire)	15 à 18
	6 T/h		22 à 30
	12 T/h (moyenne densité)		35 à 40
Arrachage	Souleveuse 1 rang Arracheuse - rangeuse 1 rang	2 à prise de force	12 à 15 30 à 35
Moissonnage-liage (à prise de force)	1,50 m	3	12 à 15
	1,80 m	—	18 à 22
	2,10 m	—	22 à 25
	2,40 m	—	25 à 30
Moissonnage - battage (à prise de force)	1,20 m	—	20 à 25
	1,80 m	—	30 à 40
	2,40 m	—	40 à 50
Ramassage d'épis de maïs (corn-picker)	1 rang	—	22 à 25
	2 rangs	—	35 à 40

NB : Ce tableau n'est pas libellé en unités normalisées. On rappelle qu'il conviendrait de noter les puissances en watt (plus commodément en kW — 1 kW = 1,36 ch).

3. LUBRIFICATION DES TRACTEURS

3.1. Les huiles

3.1.1. LES HUILES MOTEURS

Elles sont caractérisées par leur viscosité et leur détergence.

Index de viscosité :

Les huiles sont classées en degrés SAE (d'autant plus élevés que l'huile est plus visqueuse). On distingue :

- Les huiles plus adaptées aux climat froids :
  SAE 5 w, SAE 10 w, SAE 20 w,
- Les huiles normales ou huiles d'été :
  SAE 20, SAE 30, SAE 40, SAE 50.

Les huiles SAE 30 et SAE 40 sont les plus employées en pays tropicaux.

- Les huiles multigrades peuvent être utilisées avantageusement dans des climats présentant de grandes différences de températures (huiles à haut index de viscosité). Elles sont désignées par deux nombres SAE.

Exemple : huile 20 W 40, est visqueuse à froid, et trés visqueuse à chaud.

- **Niveau de détergence :**
  — Huiles minérales pures, non détergentes, convenant surtout pour la lubrification des moteurs à essence.
  — Huiles détergentes constituées d'huile minérale et d'additifs anti-oxydants, anticorrosifs et détergents, ces derniers ayant pour but d'empêcher les dépôts d'impuretés.
  — Huiles Premium : peu détergentes pour moteurs à essence ou Diesel peu poussés.
  — Huiles H.D. (Heavy Duty), avec ou sans supplément, pour la plupart des tracteurs agricoles Diesel (suppléments 1, 2, 3).
- **Précautions à prendre pour le choix des huiles :**
  — Suivre les indications du constructeur ;
  — Employer toujours le même type d'huile ;
  — Ne remplacer une huile normale par une huile détergente et qu'aprés vidange à chaud, rinçage avec huile détergente et nettoyage du filtre, avant remise en service du moteur ; après vingt heures de fonctionnement, vidanger le moteur et nettoyer le filtre à nouveau.

3.1.2. LES HUILES DE TRANSMISSIONS

Elles sont caractérisées par leur **viscosité** et par leur **résistance à la pression.**

Comme pour les huiles moteurs, ce sont les normes SAE qui sont employées, la viscosité augmentant avec le numéro. On distingue les huiles SAE 75, SAE 80, SAE 90, SAE 140, SAE 250. Dans les pays tropicaux ce sont les huiles SAE 140 qui sont d'usage courant.

3.1.3. LES HUILES COMPOUNDÉES (avec huile de ricin)

Elles sont utilisées dans certains engrenages en bronze.

3.1.4. LES HUILES FLUIDES

Ce sont des huiles très fluides qui sont utilisées pour le graissage des appareillages électriques en particulier.

3.1.5. LES HUILES MULTIFONCTIONNELLES

Elles ont été mises au point récemment pour des usages multiples, graissage du moteur et des transmissions, et peuvent aussi servir de fluide pour le circuit de relevage hydraulique.

3.2. Les graisses.

Elles sont caractérisées par leur consistance (mesurée au pénétromètre), leur point de goutte et leur structure.

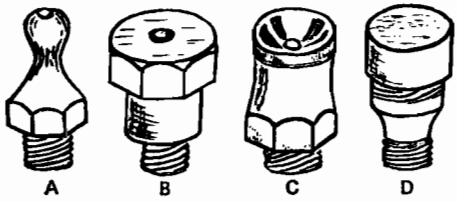
On distingue :

— les graisses pour roulements (consistance élevée : point de goutte supérieur de 20 à 30 °C à la température de fonctionnement) ;
— les graisses pour châssis et cardans (adhésivité et résistance à l'eau) ;
— les graisses tous usages (multi purpose).

Proscrire les **graisses calciques** ordinaires dites roses ou jaunes.

3.3. Types de graisseurs pour les roulements

À boule (Técalémit) (A) ;
À plat six pans (B) ;
À cuvette (Lub) (C) ;
À stauffer (D).



4. ENTRETIEN DES TRACTEURS

4.1. Schéma d'entretien

Tous les tracteurs doivent être munis d'un livret d'entretien établi par le constructeur auquel il est indispensable de se référer. Par ailleurs, il est nécessaire de tenir un journal de bord, qui permet en particulier de vérifier l'exécution des opérations suivantes :

N.B. : Un tracteur travaillant en conditions normales sera lavé au jet d'eau chaque semaine. Si le chantier est particulièrement salissant (exemple : travail dans la boue), il faudra envisager le lavage journalier.

Quelques règles d'utilisation du tracteur

1) En période de **rodage,** c'est-à-dire pendant 100 heures minimum le tracteur **ne doit pas travailler en pleine charge.** En cas de travaux difficiles, on adoptera une vitesse inférieure à celle qu'on devrait utiliser normalement. De toute manière, le tracteur **ne doit absolument pas peiner.**

CHAQUE JOUR

Organe	Opération	Conseils - Remarques
FILTRE À AIR	VÉRIFICATION ET NETTOYAGE	— Dans un filtre à bain d'huile, il ne doit pas y avoir de BOUES, de DÉPÔTS, en fond de cuve — Le nettoyage doit se faire au FUEL, au GAS-OIL, JAMAIS à l'ESSENCE — Le remplissage doit respecter le niveau inscrit sur la cuve ou le catalogue et se faire avec de l'HUILE NEUVE (jamais de récupération) — Si le tracteur est équipé d'un préfiltre à bol, vérifier que l'entrée d'air n'est pas obstruée par la poussière. BROSSER ailettes et tamis. Le niveau des poussières ne doit pas dépasser les 3/4 de la hauteur du bol — Centrer les JOINTS au remontage — Vérifier les CONNEXIONS filtres-tubulures — Dans le cas de chantiers très SALISSANTS (Ex. : labour de saison sèche), on fera 2 VÉRIFICATIONS PAR JOUR
FILTRE À CARBURANT OU COMBUSTIBLE	VÉRIFICATION	— Préfiltre décanteur s'il existe, VIDANGER dès que EAU ou IMPURETÉS apparaissent en fond de cuve
RADIATEUR	VÉRIFICATION ET NETTOYAGE	— En marche, surveiller le thermomètre. Stopper AVANT d'atteindre le ROUGE — VÉRIFICATION DU NIVEAU. Il doit se trouver à 4 ou 5 cm au-dessous de celui du trop-plein — Utiliser, chaque fois que possible, de l'EAU DE PLUIE (pas de dépôts calcaires) — Si le moteur est CHAUD, le niveau doit être complété, moteur en MARCHE — Lors de travaux SALISSANTS (défrichement, ...) vérifier que le FAISCEAU n'est PAS ENCRASSÉ ; le souffler à l'air comprimé
COURROIE DE VENTILATEUR	VÉRIFICATION	— TENSION : la flèche de la courroie doit être égale à l'épaisseur d'un doigt, environ, lorsqu'on exerce une pression sur l'un des brins. Une courroie détendue « siffle » souvent — État de la courroie : vérifier qu'elle ne se fendille pas — Jeu de l'axe du ventilateur
REFROIDISSEMENT À AIR	NETTOYAGE	— SOUFFLER à l'air comprimé, ou nettoyer avec brosse et pinceau, l'entrée de l'air, la soufflerie, les ailettes de refroidissement, dès accumulation de poussières — SURVEILLER LES SUINTEMENTS d'huile sur les hauts de cylindres, source essentielle d'encrassement ; les NETTOYER avec pinceau et essence
COURROIES DE SOUFFLERIE	VÉRIFICATION	— TENSION (cf. ci-dessus, courroie de ventilateur)
CARTER MOTEUR	VÉRIFICATION	— SURVEILLER l'indicateur de pression d'huile, en marche — Le tracteur étant placé sur une sole horizontale, vérifier le NIVEAU d'huile — S'assurer de la PROPRETÉ des récipients et de l'orifice de remplissage du carter — COMPLÉTER sans JAMAIS dépasser le MAXIMUM — NE JAMAIS MÉLANGER les huiles
POMPE D'INJECTION	VÉRIFICATION	— NIVEAU d'huile du carter de pompe
BATTERIE	VÉRIFICATION	— Le NIVEAU de l'électrolyte doit dépasser les plaques d'un bon 1/2 centimètre, mais pas plus, pour éviter les risques de débordements (secousses) — NETTOYER batterie et supports — VÉRIFIER la fixation de la batterie sur son cadre — VÉRIFIER le graissage des COSSES
RELEVAGE	NETTOYAGE GRAISSAGE	— Vis de réglage du bras de relevage, barre de 3e point, articulations — Il arrive fréquemment que barre de poussée, rotules, ... se bloquent. Dégripper avant qu'il ne soit trop tard
ARTICULATIONS DE LA DIRECTION ET DES ROUES	GRAISSAGE	— Articulations, pivots de fusées et axes de l'essieu avant — Axe de vérin dans le cas d'une direction assistée
CHENILLES	GRAISSAGE	— Graisser les axes de galets porteurs, galets supports, pignons tendeurs de chenilles (sauf dispositions contraire) — NE JAMAIS GRAISSER le chemin de roulement (maillons, axes, ...)

TOUTES LES 80 HEURES

Organe	Opération	Conseils - Remarques
FILTRE À AIR	NETTOYAGE	— Changement d'huile, même si elle semble encore utilisable — Vérification très soigneuse de l'ensemble du circuit d'air
FILTRE À CARBURANT OU COMBUSTIBLE	NETTOYAGE	— NETTOYAGE COMPLET du bol et du tamis du filtre décanteur — NETTOYAGE du filtre de la pompe d'injection, suivi d'une purge du circuit — En période de RODAGE, changement de cartouche du filtre primaire
CARTER MOTEUR	VIDANGE ET NETTOYAGE	— VIDANGE de l'huile, À CHAUD (EN PÉRIODE de RODAGE, la première vidange ne devra pas se faire à plus de 30-40 heures) On ne doit pas trop se fier à la couleur de l'huile pour déterminer la date de vidange. En effet, les huiles détergentes noircissent très vite sans perdre toutes leurs qualités ; si du gas-oil vient la diluer, une huile usagée aura au contraire un aspect plus clair — NETTOYAGE du filtre du RENIFLARD — S'assurer de la PROPRETÉ DES RÉCIPIENTS et de l'orifice du carter — RESPECTER NATURE, VISCOSITÉ et QUANTITÉ fixées par le constructeur
FILTRE À HUILE	NETTOYAGE	— CHANGEMENT de la CARTOUCHE
TRANSMISSIONS	VÉRIFICATION	— NIVEAU d'huile du carter — En période de RODAGE, VIDANGE du carter
POMPE D'INJECTION	VIDANGE	— VIDANGE du CARTER, REMPLISSAGE — Idem pour le régulateur centrifuge, si le carter est séparé
BATTERIE	VÉRIFICATION	— Vérification du niveau de l'électrolyte et complément en eau distillée — VÉRIFICATION ACIDITÉ avec pèse-acide (= 29 à 33° Baumé en charge)
RELEVAGE	VÉRIFICATION	— NIVEAU d'huile du carter, lorsque le circuit est indépendant — En période de RODAGE, VIDANGE du carter
EMBRAYAGE	GRAISSAGE	— De la butée, éventuellement, et de l'articulation de la pédale
ARTICULATIONS DE LA DIRECTION ET DES ROUES	VÉRIFICATION ET GRAISSAGE	— GRAISSAGE sous pression de la colonne de direction — VÉRIFICATION du niveau du boîtier à huile ou REMPLISSAGE du boîtier à graisse, de direction — GRAISSAGE des articulations des barres de direction
DYNAMO	LUBRIFICATION	— Quelques gouttes d'huile, seulement, dans l'orifice de graissage. Surtout ne pas en mettre en excédent (cf. livre d'entretien)
FREINS	GRAISSAGE	— ARTICULATIONS de la tringlerie et de la pédale — Vérification du niveau d'huile du circuit hydraulique éventuel
CHENILLES	VÉRIFICATION	— SERRAGE des boulons de fixation des tuiles sur la chaîne — REMPLACEMENT des boulons usés — Vérification du NIVEAU d'huile des carters de pignon de barbotins
PNEUMATIQUES	VÉRIFICATION	— De la PRESSION — Enlever les corps étrangers qui pourraient y être incrustés
CARTER POULIE	VÉRIFICATION	— Du niveau et complément éventuel

N.B. : Après 80 heures de fonctionnement (et même moins selon appréciation), le Chef d'Atelier devra donner des consignes de recherche systématique des fuites et faire exécuter les interventions correspondantes (serrages des colliers, ...).

TOUTES LES 320 HEURES

Organe	Opération	Conseils - Remarques
FILTRE À CARBURANT OU COMBUSTIBLE	CHANGEMENT ET NETTOYAGE	— CHANGEMENT de la CARTOUCHE du filtre PRIMAIRE et nettoyage du préfiltre métallique
REFROIDISSEMENT À EAU	GRAISSAGE	— De la POMPE A EAU avec graisse appropriée (cf. livret du constructeur)
REFROIDISSEMENT À AIR	GRAISSAGE	— Des ROULEMENTS de la turbine
CIRCUIT D'HUILE	NETTOYAGE	— Du tube de RENIFLARD

Organe	Opération	Conseils - Remarques
INJECTION	TARAGE ET NETTOYAGE	— TARAGE des INJECTEURS. Cette opération devra être confiée au CONCESSIONNAIRE — Si on dispose de moyens (atelier équipé correctement en personnel qualifié et matériel voulu) on peut envisager le travail à l'atelier de l'entreprise, en veillant à ce que : le démontage se fasse à l'abri des poussières, sur un établi propre ; nettoyage au gas-oil ; les nez d'injecteur NE DOIVENT PAS ÊTRE NETTOYÉS AVEC UN FIL D'ACIER, mais avec une curette en bois ou avec des métaux tendres (cuivre par ex.) — Au REMONTAGE, mêmes précautions de propreté. CHANGER les joints de CUIVRE et purger le circuit — Ce tarage peut devoir être fait, en dehors du cycle normal, en cas de fumées noires du tracteur
BATTERIE	GRAISSAGE	— Des bornes, à la vaseline
RELEVAGE	VIDANGE	— VIDANGE du CARTER d'huile — VEILLER à la particulière PROPRETÉ de l'orifice de remplissage, récipients, ... avant de remettre de l'huile neuve
FREINS	RÉGLAGE	— Réglage et vérification des freins à tambour et à sangle. Si on a des freins à disques, vérifier les plaquettes
EMBRAYAGE	RÉGLAGE	— De la GARDE d'embrayage
CULBUTEURS	VÉRIFICATION RÉGLAGE	— Du jeu des culbuteurs (cf. cotes sur livret du tracteur)
CHENILLES	RÉGLAGE	— En soulevant la chenille au-dessus d'un galet support, avec un levier, on doit avoir une flèche de deux bons doigts

TOUTES LES 720 HEURES

Organe	Opération	Conseils - Remarques
FILTRE CARBURANT OU COMBUSTIBLE	CHANGEMENT ET NETTOYAGE	— CHANGEMENT de la CARTOUCHE et des JOINTS du filtre secondaire — Nettoyage : cf. ci-dessus
RÉSERVOIR CARBURANT OU COMBUSTIBLE	NETTOYAGE	— VIDANGE et RINÇAGE du réservoir à carburant pour éliminer les dépôts
RADIATEUR	NETTOYAGE	— VIDANGE ET RINÇAGE avec une solution (1/10) de carbonate de soude dans l'eau chaude, si possible (pendant 2 heures) — En dehors de cette méthode, il existe des systèmes de nettoyage en circuit fermé qui ont l'intérêt de détartrer le bloc-moteur
TRANSMISSIONS	VIDANGE	— VIDANGE de l'huile de transmission — Veiller à la propreté des récipients et de l'orifice de remplissage avant de faire le plein
CIRCUIT D'HUILE	NETTOYAGE	— Nettoyage de la crépine de pompe à huile
BATTERIE	VÉRIFICATION	— De l'acidité au pèse-acide — Si la batterie doit être stockée à ce moment (arrêt prolongé), la charger à fond, puis la vidanger avant rangement dans un endroit très sec
CIRCUIT ÉLECTRIQUE	VÉRIFICATION ET NETTOYAGE	— Vérification des balais et collecteurs de dynamo — Vérification des balais et collecteurs de démarreur — Vérification systématique des branchements, contacts, NE JAMAIS faire le NETTOYAGE au FUEL
BOITIER DE DIRECTION	VIDANGE	— De l'huile et remplissage — conditions de propreté
ROUES	GRAISSAGE VÉRIFICATION	— Du train avant : axe d'essieu, roulements de roues, rattrapage du jeu des roues, en serrant l'écrou de serrage — Des roues motrices (moyeux) par le concessionnaire, lors d'une de ses visistes
CHENILLES	VÉRIFICATION	— Bande de guidage de la roue avant : si une usure se manifeste sur un de ses côtés, on a un défaut d'alignement de la roue — Vérifier la distance entre le maillon de chaîne et la jante du galet. Si une usure se manifeste sur le bossage du maillon, la garde est insuffisante, il faut songer à retourner axes et bagues
CARTER POULIE	VIDANGE	— Et remplissage en prenant les précautions déjà soulignées, de propreté

2) En utilisation normale, **ne pas surcharger** le tracteur, c'est-à-dire le faire travailler à une vitesse ou avec un nombre de socs, pièces travaillantes..., visiblement trop grands pour sa puissance (si l'injection est bien réglée, des fumées à l'échappement peuvent être signe de surcharge).

3) En utilisation normale, faire fonctionner un moteur au voisinage de la **pleine charge** et légèrement en dessous ; ceci afin de maintenir une température élevée au moteur (finesse de la pulvérisation) et se situer entre les régimes de puissance maximale et de couple minimal (réserve de couple).

4) Lors de manœuvres sur le chantier ou en « intérieur de ferme », **ne pas faire chuter** le régime à la manette, mais **rétrograder,** en gardant le même régime.

5) **Ne pas laisser tourner** un moteur **au ralenti** (le gas-oil non brûlé peut diluer l'huile et entraîner des gommages).

6) **Ne pas emballer** un moteur **au démarrage** (graissage insuffisant). Démarrer et accélérer légèrement pour faire monter la température.

7) Lorsque le moteur ne veut pas partir, **ne pas actionner le démarreur continuellement** (répéter les tentatives en laissant un temps entre chaque essai).

8) **Ne jamais forcer des vitesses** qui grincent, s'engagent mal. Lever le pied et débrayer à nouveau.

9) **Ne jamais conduire** un tracteur en laissant le **pied sur l'embrayage** ou en faisant varier la vitesse d'avancement avec l'embrayage (défaut de nombreux chauffeurs, en particulier pour s'arrêter ou, pire, dans les virages !).

10) **Incidents possibles en cours de marche :**

— Mise en route difficile. Si le démarreur fonctionne normalement, vérifier l'alimentation et l'injection. Si le démarreur ne fonctionne pas correctement, cela peut provenir de la batterie, des contacts.

— Une baisse de régime peut provenir du filtre à air ou de l'injection.

— Les fumées bleues à l'échappement sont un signe de remontée d'huile (segmentation). Les fumées noires proviennent de l'injection ou du filtre à air, en mauvais état ou mal réglés.

— Manomètre de pression d'huile :
  - Si la pression est trop élevée, vérifier la nature de l'huile.
  - Si la pression est trop faible, vérifier le niveau, le filtre, s'il y a des fuites.

— Échauffement de l'embrayage : il est mal réglé ou la butée est trop graissée (si cela ne vient pas de la conduite évidemment !).

— Relevage fonctionnant plus lentement : vérifier le niveau d'huile, l'étanchéité du circuit, la nature de l'huile (qui n'est peut-être pas assez fluide).

11) **Attention à la vitesse !**

Sur pistes, toujours défectueuses :

— un tracteur dont les roues sont gonflées à l'air, ne doit pas dépasser 20 km/h ;

— un tracteur dont les roues sont gonflées à l'eau, ne doit pas dépasser 15 km/h (mouvement de l'eau qui entraîne de l'usure et une mauvaise tenue, sur piste).

Autrement dit, on ne prendra jamais la grande vitesse routière du tracteur sur piste.

La règle est encore plus stricte pour les tracteurs à chenilles. **Ne pas dépasser** 4 à 6 km/h. En marche arrière, reculer très doucement (mouvement le plus dur pour les chenilles).

12) Si le tracteur cabre, **débrayer immédiatement**.

13) Si le tracteur patine, **rétrograder**.

14) **Attention aux pneumatiques !**

Ils ne doivent pas séjourner sur une flaque d'huile, de graisse ou être mouillés à l'essence. Ils craignent également le soleil.

15) Avant **remisage** ou très long arrêt :

— vidanger à chaud les carters moteur ;

— faire, « si possible », un « rinçage » à l'huile antirouille, en excès, avant de refaire le plein ;

— fermer hermétiquement les tubulures d'admission, échappement, reniflards ;

— **vider le radiateur** d'eau et mettre un panneau le signalant ;

— débrancher la batterie ;

— **mettre sur cales,** pneus gonflés.

4.2. Calcul du prix de revient horaire

Ces échecs de la motorisation déjà constatés en Afrique sont dus parfois à l'impréparation technique des utilisateurs. Mais, le plus souvent, les contraintes économiques sont la vraie raison de l'abandon d'initiatives mal étudiées au départ.

Le CEEMAT a mis au point un canevas de calcul des prix de revient horaires des engins. La méthode a été étendue aux grandes « familles » d'équipements agricoles. Compte tenu de la rareté d'échantillons sérieux permettant la vérification des ratios d'une part, et de l'hétérogénéité des conditions agricoles tropicales d'autre part, le CEEMAT a dû simplifier la méthode. Les chiffres actuellement retenus sont les suivants :

Matériels	Nombre d'années d'utilisation possibles (obsolescence)	Nombre d'heures d'utilisation (durée de vie technique) heures	Coefficient de frais de réparation correspondants (% du prix neuf)
Tracteur 2 RM	10	8 000	100 %
Tracteur 4 RM (> 100 ch)	10	10 000	100 %
Chenillards	15	10 000	80 %

Matériels	Nombre d'années d'utilisation possibles (obsolescence)	Nombre d'heures d'utilisation (durée de vie technique) heures	Coefficient de frais de réparation correspondants (% du prix neuf)
Motoculteurs	8	3 000	60 %
Matériel de travail du sol .	10	2 500	120 %
Matériel de semis et d'épandage	10	1 000	100 %
Matériels de traitements phytosanitaires	8	1 000	60 %
Matériel de récolte automoteur	8	2 000	60 %
Matériel intérieur de ferme	15	2 000	50 %
Moteurs (à poste fixe)	15	10 000	50 %

4.3. Calcul prévisionnel du prix de revient du matériel

On s'efforcera de choisir :

— la méthode d'amortissement approchant le mieux les conditions réelles existant dans le site donné. Il est ainsi évident que les réflexions ne peuvent ignorer les durées habituellement pratiquées pour les crédits. Ces durées retenues peuvent être inférieures à celles caractérisant l'obsolescence ;

— la durée d'utilisation peut être « approchée », en calcul prévisionnel, en considérant attentivement le calendrier cultural et les techniques pratiquées. Inutile de raisonner 1 000 heures d'utilisation par an si objectivement, dans tel site sahélien, la machine ne peut en faire que 500 ;

— la réflexion sur le système technique de production peut également donner des informations sur l'utilisation du matériel, donc infléchir le choix de tel ou tel paramètre (exemple : consommation en carburant).

4.4. Prix de revient réel

La méthode de calcul ne diffère pratiquement pas de celle exposée ci-après pour le calcul du coût prévisionnel. Aux divers postes cités (frais fixes, variables, généraux), on donne la valeur des dépenses réellement constatées au cours du travail effectué durant la période de référence.

L'amortissement est calculé en fonction des heures d'utilisation effectivement réalisées au cours de la période étudiée.

L'intérêt du capital investi est calculé selon les normes exposées ci-dessous. Les impôts, taxes et assurances sont bien connus par la compta-

bilité. Les factures des ateliers de réparation et le carnet de bord du matériel permettent de déterminer les frais de réparation, d'entretien, de carburant et ingrédients. Ils facilitent aussi l'imputation des charges de personnel calculée conformément aux normes exposées ci-dessous.

La tenue du carnet de bord où sont consignées journellement :
— la consommation en ingrédients divers,
— les heures d'utilisation,
— la nature des chantiers intéressés,
apporte des renseignements précieux.

Tout ceci semble ainsi facile à conduire. Mais, le très gros intérêt des données réelles réside non seulement dans la possibilité de faire des calculs à l'instant T, mais dans celle de recalculer les ratios propres à l'entreprise. Exemple : seuils optimaux d'amortissement, consommation, etc.

Principaux éléments de calcul du prix de revient horaire d'utilisation d'un tracteur

4.4.1. FRAIS FIXES

a) Amortissements

La somme à amortir comprend la valeur d'achat augmentée des frais de transport et de mise en route.

Les méthodes d'amortissement sont classiques :
— linéaire ;
— fondée sur l'évaluation de la dépréciation du matériel, durant l'exercice, d'un pourcentage constant de la valeur en début d'exercice.

Cette méthode, pratiquée dans le monde, applique des coefficients précis (exemple : 20 %, 15 %, ...) en conformité avec les régimes fiscaux des États.

b) Intérêt du capital

Le taux d'intérêt est celui des Caisses de Crédit agricole existant dans le pays considéré. Cet intérêt est annuel et porte sur l'investissement augmenté des frais de mise en place et de la valeur du stock (méthode ainsi simplifiée).

Pour le calcul du coût « moyen », on applique ce taux d'intérêt à la valeur moyenne de l'investissement (durant la vie de l'équipement) : (investissement + mise en place + stock) x 0,5 x taux intérêt.

c) Primes d'assurance

S'il y a lieu, soit en fonction du prix d'achat (0,5 à 1 %) soit suivant le tarif pratiqué par les compagnies d'assurances (privées ou mutuelles).

d) Charge d'abri

Estimée en fonction du prix d'achat du tracteur (0,5 à 1 %) ou calculée (amortissement et entretien du local) en tenant compte de la qualité des matériaux de construction.

e) Impôts et taxes

S'il y a lieu, par exemple : carte grise, quand elle est exigée, etc.

4.4.2. FRAIS VARIABLES

a) Réparation

Cf. coefficients ci-dessus qu'il convient de « répartir sur la vie de la machine » exprimée en année, en heure...

b) Carburant

Consommation exprimée en fonction de la puissance nominale du tracteur, du moteur... Les coefficients à utiliser sont les suivants :

— Moteur Diesel 0,09 à 0,10 l/ch/h avec 1 ch = 736 W ;
— Moteur explosion 0,19 l/ch/h ;
— Moteur à pétrole 0,22 l/ch/h.

c) Lubrifiant

La consommation s'exprime en fonction de celle du carburant avec les ratios suivants :

Diesel = 4,5 l/100 l de gazole consommé ;
Essence = 2,5 l/100 l d'essence consommée.

d) Conduite

Les frais de conduite comportent :

— le salaire du chauffeur ;
— des frais de main-d'œuvre pour entretiens, égaux à 1 heure de travail pour 10 heures de fonctionnement de l'engin.

5. FRAIS GÉNÉRAUX

Ils ne doivent pas être négligés. Sous ce vocable sont réunis divers postes qui influeront sur le coût d'utilisation des tracteurs, en raison des investissements et des frais de fonctionnement qu'ils impliquent. On devra y trouver :

a) des frais de personnel : « état-major » pour partie proportionnelle, encadrement technique, comptable, magasinier... y compris les charges sociales ;

b) les frais d'amortissement et d'entretien des bâtiments administratifs, des logements du personnel, des ateliers (avec leur gros outillage) ;

c) des frais divers de fonctionnement du service matériel : force motrice, petites fournitures d'atelier (non comprises au poste « réparations »), fournitures de bureau, charges sociales diverses, etc.

Tout le parc matériel de l'exploitation (et non seulement le ou les tracteurs) doit supporter cet ensemble de charges. Leur répartition sur le coût horaire de fonctionnement peut se faire proportionnellement à la valeur d'achat, en considérant que, d'une manière générale, plus un matériel est coûteux, plus il nécessite de surveillance ou d'encadrement pour son emploi et plus il bénéficie des services de l'atelier.

V

TRAVAUX DE CULTURE MÉCANIQUE

1. DÉFRICHEMENTS ET TERRASSEMENTS

1.1. Types de tracteurs utilisés.

— Le plus souvent, **tracteurs à chenilles** de puissance très variable pouvant aller de 30 à 250 ch, permettant des efforts de traction de 3 à 30 tonnes.

— Parfois, **tracteurs à roues** :

- Tracteurs ordinaires à 4 roues le plus souvent à deux essieux moteurs (adhérence accrue). Ils peuvent être porteurs d'engins (bouteurs légers) ou réservés à la traction (débrouissailleuses, rouleaux), pourvus de treuils ou non.
- Tracteurs spéciaux presque tous du type à **selle** (le tracteur supporte une part importante du poids qu'il doit tirer), soit à deux roues (ne sont stables que grâce à leur attelage avec leur wagon-remorque ou leur wagon-scraper), soit à quatre roues.
  Ces tracteurs peuvent se déplacer en charge à des vitesses supérieures à 27 km/heure et ils présentent des caractéristiques particulières dans leurs organes de direction, d'attelage, etc.

1.2. Défrichements.

1.2.1. MATÉRIELS DE DÉFRICHEMENT

— **Treuils manuels** à cliquets ou à pinces. Permettent parfois un travail rapide. Exemple de chantier : avec treuil à cliquet + 6 hommes (2 pour l'ancrage, 2 pour l'arbre à abattre, 2 pour le lever) on peut abattre 10 arbres à l'heure.

— **Treuils à moteur** (sur tracteur à chenilles, à roues, ou motoculteur). Malgré la puissance de l'ensemble, travail lent car il est nécessaire d'ancrer l'engin porte-treuil.

— **Bouteur ou Bulldozer** : lame refoulante de hauteur réglable par système de relevage par câble ou hydraulique.

Application : peut s'avérer utile dans les forêts clairsemées et dans la savane boisée si le terrain à défricher est de petites dimensions et ne justifie pas l'acquisition d'équipements spéciaux.

Désavantage : rendement de travail relativement faible ; enlève dans bien des cas la couche arable du sol.

— **Bouteur d'abattage ou Treedozer** : Muni d'une barre de poussée complétant le bulldozer et permettant une poussée à environ 3 m de hauteur.

— **Lame d'abattage** (ou forestière biaise) : exemple : Rome KG - Cf. temps de travaux p. 000. Lame orientée à 30° comportant un bord tranchant et un éperon.

Avantages : équipement polyvalent pouvant abattre, empiler, dessoucher et creuser ; les arbres abattus tombent dans une direction donnée, la lame pouvant s'attaquer à n'importe quel arbre quel que soit son diamètre.

— **Lame forestière en V** : se caractérise par un éperon massif prolongé par 2 bords tranchants échancrés.

Application : idéale pour gros rendements dans la coupe d'arbres, de broussailles et de souches au niveau du sol mais ne convient pas pour l'extirpation des souches et des racines.

Désavantage : la chute des arbres n'est pas guidée, les souches ne sont généralement pas coupées en une seule passe, ne convient pas pour l'empilage et le creusement de fossés.

— **Flèche d'abattage** (tree-pusher) : bras de grande longueur, jusqu'à 11 m portant le point de poussée jusqu'à une hauteur de 7 m et pouvant être adapté sur un tracteur équipé de lame bull ou non.

Application : contrairement aux lames d'abattage, la flèche d'abattage déracine les arbres et de ce fait est particulièrement rentable quand la présence de souches est à exclure. Peut également faire un excellent travail lors d'une opération de chaînage en se chargeant des arbres qui résistent à l'abattage.

— **Râteau universel** (Fleco) : conçu pour résister aux chocs violents et aux conditions de travail les plus dures, doté de dents en acier au manganèse.

Application : destiné aux défrichements lourds avec enlèvement des arbres de faible diamètre, de souches et de roches.

Avantages : équipement lourd convenant aux défrichements de tous types, particulièrement efficace dans les sols sablonneux.

Désavantages : n'abat pas les gros arbres.

— **Râteau défricheur** : bulldozer comportant des dents en bas du bouclier.

Application : abattage d'arbres, extirpation, dessouchage — peut être utilisé comme râteau épierreur, le modèle empileur est plus haut et comporte des dents longues et incurvées.

— **Pulvérisateur à disques de défrichement** : 2 catégories, les pulvériseurs « moyens » (disques de 71 à 81 cm de diamètre, tous crantés, poids par disque de 200 à 250 kg environ), les pulvériseurs lourds de 81 à 91 cm de diamètre, poids par disque de 350 à 450 kg.

— **Rouleau débroussailleur** : les pièces travaillantes sont des lames d'acier droites ou de forme hélicoïdale ou en forme de chevrons,

montées radialement d'une façon rigide sur un cylindre creux tournant autour d'un axe tiré par l'intermédiaire d'un châssis attelé à un tracteur.

— **Débroussailleuse rotative à axe horizontal** : rotor horizontal cylindrique entraîné par la prise de force et portant des couteaux ou fléaux articulés.

Application : peut s'attaquer directement à des tiges ligneuses de 15 cm de diamètre, à condition, si la débroussailleuse est à l'arrière du tracteur, que celui-ci puisse courber les tiges à l'aide de son bouclier ; peut également réduire progressivement troncs et grosses branches abattus.

— **Rooter** : constitué de plusieurs dents (généralement 3 à 5) fixées sur un bâti traîné porte-outils et qui sont de forme concave vers l'avant et non tranchante.

Application : extirpation des grosses racines (jusqu'à 1,20 m de profondeur) demeurant dans le sol après l'essouchage ou après l'abattage par poussée.

— **Ripper** : généralement porté, dents plus courtes que le rooter.

Application : défoncement terrains rocheux très durs.

— **Dessoucheuse ou Stumper** : Bouclier étroit muni de quelques grandes dents permettant de pousser les arbres en même temps qu'il coupe les racines.

— **Défonceuse ou rooter-ripper** : Sorte d'énorme sous-soleuse montée à l'arrière d'un tracteur, pour arracher une souche isolée.

— **Râteau déracineur ou root-rake** (clearning-dozer) : Gros râteau formé de barres verticales, fixées à la place du bouclier sur le châssis du bulldozer. Utilisé pour fouiller le sol, sortir les grosses racines et mettre les arbres abattus en andains. Par son action il effectue un premier travail de nivellement. Les dents doivent être amovibles et on doit fixer un « top guard » qui évite les débordements par le haut de l'andainage.

— **Herse à défricher** : Bâti en V à l'avant du chenillard, portant des dents verticales inégales. Relevées au maximum et poussées en saccades alternativement en avant et en arrière, les dents dégagent les racines.

— **Défonceuse à lame ou root-cutter** : Lame coupante horizontale fixée entre deux dents de rooter, qui sectionne toutes les racines à 30 cm de profondeur. Permet de mécaniser les travaux agricoles ultérieurs et complète le travail du rooter.
Les lames coûtent cher et s'usent rapidement, on doit les recharger.

— **« Tree-crusher » :** Engin automoteur utilisé depuis peu en Afrique pour la destruction de la forêt avant plantation de palmiers à huile. L'engin avance sur trois cylindres d'acier couvrant une largeur d'environ 8 m. Les cylindres portent à leur périphérie des lames coupantes en acier ; à l'avant sont fixés une lame d'abattage de 4 m de hauteur et un bras de poussée de 7 m. Un groupe électrogène de 480 ch alimente des moteurs électriques dans les cylindres. Poids : 52 tonnes.

1.2.2. MÉTHODES DE DÉFRICHEMENT

Le choix du mode de défrichement doit être précédé par une série d'études relatives à la zone à défricher et concernant :

— la végétation : nombre d'arbres, taille des arbres, essence, systèmes radiculaires, sous-bois... autant de facteurs variables déterminés par relevés quantitatifs ;
— l'état du sol : nature, humidité, présence de roches ou de grosses pierres... ;
— la topographie : pentes, fossés, marécages... ;
— les conditions climatiques ;
— l'utilisation envisagée : routes, barrages, cultures...

1.2.2.1. Matériels

En SAVANE HERBACÉE (arbustes diamètre $\leqslant$ 5 cm), on peut utiliser des outils à disques lourds (charrue ou pulvériseurs) souvent crantés, de grand diamètre (71 à 91 cm), d'un poids élevé par disque.

- Rouleaux débroussailleurs.
- Débroussailleuses rotatives à axe horizontal.

En SAVANE BOISÉE, le défrichement peut être effectué :

— par dragage + andainage = deux tracteurs à chenilles de 180-350 ch sont reliés par une chaîne et avancent parallèlement l'un à l'autre à une distance équivalente au tiers de la longueur de la chaîne ou du câble. Les arbres sont couchés par la chaîne. Si un arbre résiste, un troisième facteur avec tree-ozer soulève la chaîne afin d'en augmenter l'action et pousse quand les deux autres tirent. Si l'effort est encore insuffisant, les 2 tracteurs latéraux s'ancrent, l'un servant de point fixe, l'autre tirant avec le treuil, le troisième tracteur continuant à pousser.

Longueur de chaîne : 30 à 120 m.

Largeur de dragage : environ 15 m ou plus ($\geqslant$ 15 m).

Travail en saison des pluies pour éviter que les arbres cassent au cours du dessouchage.

On peut placer au milieu de la chaîne une sphère d'acier... :

— par abattage arbre par arbre + andainage, à l'aide d'outils divers : treuil, lame bull, lame défricheuse, lame d'abattage, lame en V, lame poussoir, râteaux, dessoucheur.

En MARAIS, exemple lac Alaotra à Madagascar : drainage, brûlage, passage de la charrue à soc, à grand dégagement à grand coutre circulaire, derrière un chenillard.

En FORÊT, le défrichement est conditionné par l'abattage partiel ou complet des gros arbres avec ou sans extraction des souches.

- Abattage partiel : dans les plantations non ou semi-mécanisées où l'abattage est fréquemment pratiqué à la tronçonneuse et à la machette.
- Abattage complet (avec ou sans dessouchage) : les techniques de défrichement sont les mêmes qu'en savane boisée. Cependant les moyens de traction sont souvent de plus forte puissance.

1.2.2.2. Temps de travaux

COUPE ET ANDAINAGE

La formule ci-après est celle établie par la société Rome Plow pour déterminer le temps requis par hectare (en minutes) pour la coupe et

l'andainage effectués par un tracteur équipé d'une lame forestière du type KG.

Pour évaluer le temps de coupe d'une machine par hectare sur un chantier de défrichement donné, appliquer la formule suivante en se servant des données obtenues lors de l'étude du terrain :

$$T = B + M_1N_1 + M_2N_2 + M_3N_3 + M_4N_4 + DF$$

où

T = Temps par hectare en minutes.

B = Temps de base pour chaque tracteur par hectare.

M = Temps en minutes par arbre, dans chaque catégorie de diamètre.

N = Nombre d'arbres par hectare dans chaque catégorie de diamètre, obtenu lors de l'étude du terrain.

D = Somme en mètres du diamètre de tous les arbres par hectare ayant un diamètre supérieur à 1,80 m (6') à la base du tronc.

F = Temps en minutes pour couper un mètre de diamètre des arbres de plus de 1,80 m (6').

COEFFICIENT DE PRODUCTION POUR ABATTAGE A LA LAME ROME K/G

Tracteur Caterpillar*	Temps de base** en minutes « B »	Catégorie de diamètre (1) 30-60 cm (1'-2') « M_1 »	Catégorie de diamètre 60-90 cm (2'-3') « M_2 »	Catégorie de diamètre 90-120 cm (3'-4') « M_3 »	Catégorie de diamètre 120-180 cm (4'-6') « M_4 »	Au-dessus de 180 cm (6') par mètre « F » (2)
D9G	44,5	0,2	0,5	1,5	4	4
D8H	52	0,3	1,5	2,5	7	6,5
D7F	69	0,5	2,0	4,0	12	13
D6C	99	0,8	4,0	8,0	25	—

* Modèle récent (si possible Power Shift), travaillant sur terrain relativement plat, pentes maximales 10 %), sol ferme sans roches et végétation composée de bois durs et tendres en proportion égale. Le tracteur et l'équipement sont en parfait état de marche.

** Temps en minutes nécessaire à chaque tracteur pour couvrir un hectare de terrain présentant une végétation légère où aucun arbre ne doit être fendu ou subir un traitement particulier.

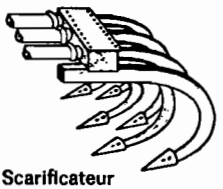
(1) M_1 représente le temps en minutes nécessaire pour couper des arbres de 30-60 cm de diamètre (1'-2') à la base du tronc ; M_2 le temps en minutes pour les arbres de 60-90 cm de diamètre (2'-3') ; M_3 le temps en minutes pour les arbres de 90-120 cm de diamètre (3'-4') ; M_4 le temps en minutes pour les arbres de 120-180 cm de diamètre (4'-6').

(2) Temps en minutes nécessaire à chaque modèle de tracteur pour couper l'équivalent de 1 m de diamètre pour les arbres dont le diamètre est supérieur à 180 cm (6'). Ainsi, il faudra 2,5 × 4 mn, soit 10 mn environ à un D9G pour abattre un arbre de 2,5 m de diamètre.

Pour la coupe, il faudra prendre en considération certains facteurs qui affectent le temps de production :

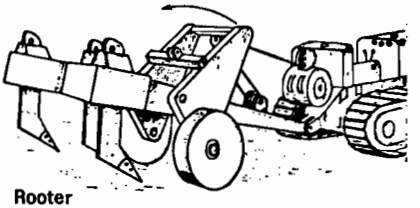
- Augmenter le temps de 50 % dans chaque catégorie de diamètre s'il est nécessaire d'extirper les racines après avoir coupé l'arbre à la base du tronc.
- Majorer le temps de 25 % dans chaque catégorie de diamètre si les arbres et les racines sont arrachés en une seule opération.

MATERIEL DE DEFRICHEMENT



Scarificateur

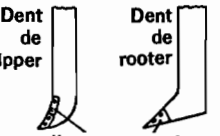
réglage de profondeur



Rooter



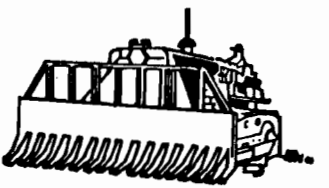
Ripper



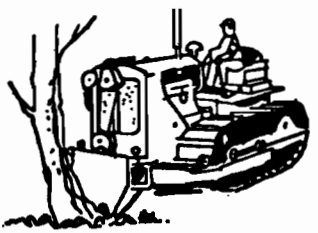
Plaques d'usure interchangeables en acier traité



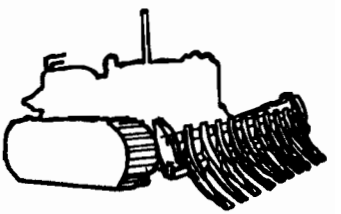
Lame de bulldozer



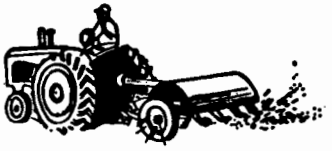
lame défricheuse ou cleaner dozer



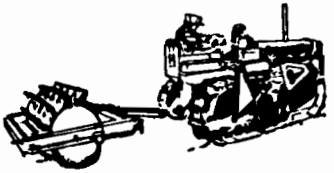
Déssoucheuse ou stumper



Rateau déracineur ou Root Rake



Débroussailleur rotatif à fléaux



Rouleau débroussailleur



Débroussaillement à la chaine ou au câble

- Présence de bois durs
  75-100 % : augmente le temps total de 30 % (T).
  25-75 % : pas de changement.
  0-25 % : déduire 30 % du temps total (T).
- Densité de la végétation de diamètre inférieur à 30 cm (12 ").
  Dense — 1 500 arbres/hectare : majorer le temps de base (B) de 100 %.
  Moyenne — 1 000-1 500 arbres/hectare : sans changement.
  Clairsemée — moins de 1 000 arbres/hectare : déduire 30 % du temps total (T).
- Végétation aéricole dense :
  Majorer le temps de base (B) de 100 %.

La formule pour l'andainage est identique, toutefois avec les temps de base suivants :

PRODUCTION

D9G	112	0,1	0,2	1,4	2,4	1,3
D8H	124	0,2	0,6	2,0	4,0	3,3
D7F	150	0,4	0,8	3,0	6,0	—
D6C	185	0,6	1,2	5,0	—	—

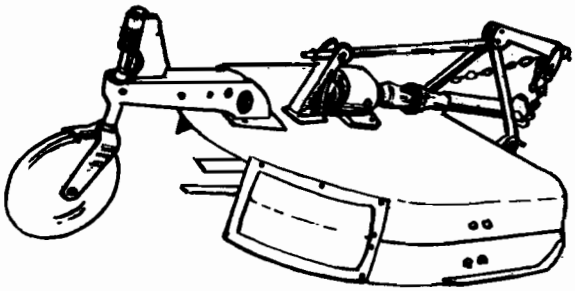
(Andains espacés d'environ 60 m).

Il est toutefois nécessaire de prendre en considération certains facteurs qui peuvent affecter le temps de production :

- Majorer le temps total de 25 % si les souches ont été enlevées.
- Déduire 25 à 50 % du temps total par tracteur si trois ou plusieurs machines travaillent conjointement.
- Pour le brûlage, compter entre 1 h 15 mn et 2 h 30 mn par tracteur et par hectare.
- Pour les végétations denses composées d'arbustes de petit diamètre, avec peu ou pas de gros arbres, et quand les matériaux abattus sont entremêlés de lianes, réduire le temps de base de 30 %.

1.2.3. APPAREILS SPÉCIAUX POUR LE DÉBROUSSAILLEMENT

Débroussailleuses à axe vertical, description d'un modèle particulier de gyrobroyeur. — Débroussailleur à axe vertical, muni de deux couteaux articulés aux extrémités de deux longs bras tournant à une vitesse de 750 tr/mn, correspondant généralement à une vitesse périphérique de l'ordre de 70 m/s. La largeur de coupe varie peu autour de 1,50 m ; ce qui est plus variable c'est la robustesse de l'ensemble selon qu'il s'agit de hacher des pailles ou de réaliser le débroussaillage, y compris la coupe de tiges de 5 cm de diamètre.



Pour une même largeur de coupe de 1,50 m et selon la conception de l'appareil, on peut avoir les caractéristiques suivantes :

Poids :	355 kg	390 kg	485 kg	700 kg
Puissance nécessaire :	25/33 ch	33/40 ch	40/50 ch	50/60 ch

La vitesse d'avancement dépend de la densité de la végétation mais elle demeure généralement faible, inférieure à 4 km/h, souvent de l'ordre de 1 à 2 km/h (vitesses rampantes).

Débroussailleur gyroscopique. — Essentiellement constitué d'une couronne horizontale d'environ 1,60 m de diamètre, tournant à 400 tr/mn, garnie de 8 lames coupantes horizontales et escamotables (ressorts de tension) et de 8 couteaux verticaux, l'ensemble des pièces travaillantes permettant de couper et déchiqueter les tiges.

La largeur de travail est de 2,10 m. Plus la marche est lente, plus la puissance de coupe est grande.

A 400 m/h cet appareil de 380 kg peut couper des arbres de 10 cm de diamètre avec un tracteur de 30 ch.

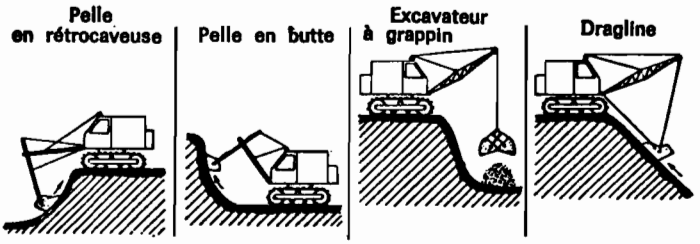
On peut citer également deux types d'appareils à axe vertical **les débroussailleuses à chaîne** (intéressantes en sol caillouteux) et **les appareils à scie circulaire**.

Il existe enfin **des débroussailleuses à axe horizontal à fléaux** (le même principe est adapté aux récolteuses).

1.3. Terrassements.

1.3.1. MATÉRIEL

1.3.1.1. Excavateurs.



DEBITS HORAIRES DES EXCAVATEURS en m³

Engins	Capacité du godet en m³	Nature du terrain		
		Meuble	Compact	Dur
Pelle en butte	0,3	50	35	20
	0,5	70	50	30
	1	130	100	60
	3	350	250	180
Dragline	0,3	40	35	15
	0,5	60	40	27
	1	100	70	45
	3	250	200	100

1.3.1.2. Bouteurs ou refouleurs.

Destinés à refouler les déblais, ils sont constitués d'un bouclier légèrement incurvé dont le bas est renforcé d'une lame tranchante (ce sont les mêmes équipements que ceux utilisés pour le défrichement) :

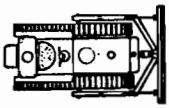
— Bouteur ou Bulldozer : lame perpendiculaire à l'axe du tracteur.
— Bouteur biais ou Angledozer : lame pouvant faire un angle avec l'axe du tracteur.
— Bouteur inclinable ou Tildozer : lame pouvant pivoter autour de l'axe du tracteur pour mordre le sol sur un côté.

- Vitesse à vide : **3-10 km/h**.
- Vitesse au travail : **2-2,5 km/h**.
- Distance maximale de transport par refoulement : **50 m**. Très exceptionnellement : **100 m**.

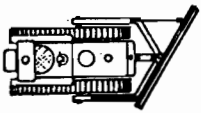
BOUTEUR INCLINABLE
(Lame inclinée)



BOUTEUR
(Lame droite)



BOUTEUR BIAIS
(Lame orientable)



RENDEMENTS DES BOUTEURS SUIVANT LA PUISSANCE DU TRACTEUR

	Puissance du tracteur		
	130 ch	80 ch	35 ch
Capacité d'une passe à la lame		2 m³	0,7 m³
Capacité de terrassement (terres transportées à 10 m)	90 m³/h	60 m³/h	16 m³/h
Capacité de réglage :			
— de terre		200 m³/h	50 m³/h
— de pierres cassées		100 m³/h	10-15 m³/h
Capacité de transport :			
— à 30 m	95 m³/h	70 m³/h	
— à 50 m	65 m³/h	50 m³/h	
— à 70 m	50 m³/h	30 m³/h	
— à 100 m	30 m³/h	20 m³/h	

Conseils d'utilisation :
— ne mettre le moteur en charge qu'après réchauffage à vide ;
— embrayer progressivement ;
— employer le tracteur au trois quart de la puissance maximale ;
— rétrograder avant que le moteur ne cogne.

1.3.1.3. Scrapers ou décapeuses.

Décapeuses rotatives pour travaux légers.

Décapeuses semi-portées à 1 essieu, tirées par tracteurs à pneus à 2 ou 4 roues.

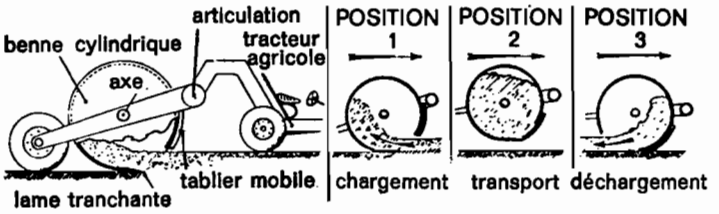
Wagons-scrapers à 2 essieux tractés par tracteurs à chenilles.

Les scrapers sont parfois aidés par des pousseurs qui permettent d'accroître la capacité de la benne et la distance de transport.

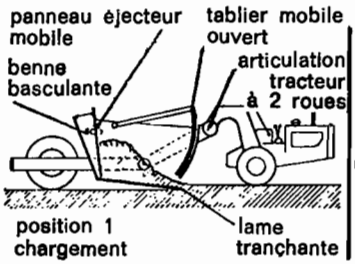
Si la distance qui sépare les lieux d'emprunt et de dépôt est de 1 000 m, on peut utiliser 2 scrapers semi-portés de 13,5 à 18 m³ ou 1 scraper de 22,5 à 30 m³.

DECAPEUSES

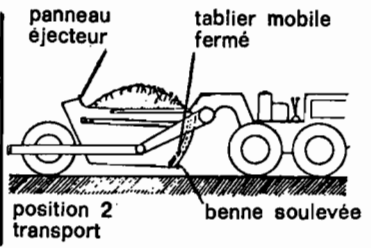
DECAPEUSE ROTATIVE



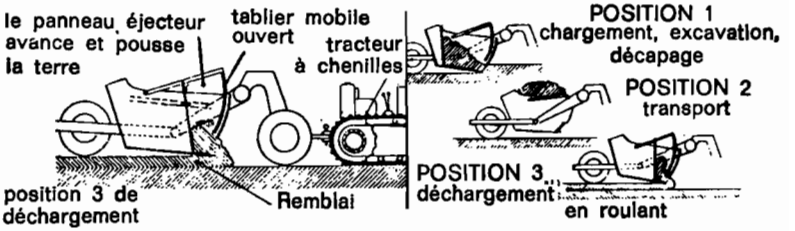
DECAPEUSE AUTOMOTRICE SUR PNEUS SEMI-PORTEE



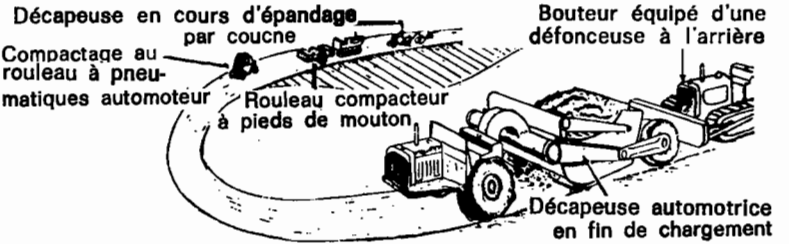
DECAPEUSE SEMI-PORTEE-TIREE PAR UN TRACTEUR A 4 ROUES



DECAPEUSE TIREE PAR UN TRACTEUR A CHENILLES



CHANTIER DE DIGUE EN TERRE—EMPLOI DU MATERIEL



RENDEMENT DES DECAPEUSES en m³/h

Puissance du tracteur en ch	Capacité de la benne en m³	Largeur en m	Transport suivant la distance		
			50 m	75 m	100 m
15	0,5	1,2	16	12	9
25	0,6	1,5	22	16	11
30	0,8	1,8	27	19	13
35	0,9	2,1	28	19	14
40	1	2,4	31	20	15
50	1,4	1,8	40	28	21
60	1,8	1,8	55	38	27
75	2,4	2,4	70	50	40

DISTANCE ECONOMIQUE

Capacité en m³	Distance en m	Observations
2,25 à 3	30 à 120	
4,50 à 6	60 à 180	Le travail effectué avec deux scrapers permet d'augmenter de 50 % la distance de transport et de 80 % le cubage transporté.
8,50 à 12	90 à 240	
13,50 à 18	120 à 460	
22,50 à 30	180 à 900	

1.3.1.4. Autres matériels de terrassement.

- **Niveleuses ou graders :**
  - — niveleuse tractée ;
  - — motorgrader ou niveleuse automotrice : surtout utilisé pour répandre et niveler les terres de déblai, peut également travailler sur sol ameubli grâce au passage préalable, avant planage, de dents de scarificateur montées sur le châssis.

Selon les modèles, puissance de 60 à 120 ch ; longueur de lame : 2,70 m à 4 m.

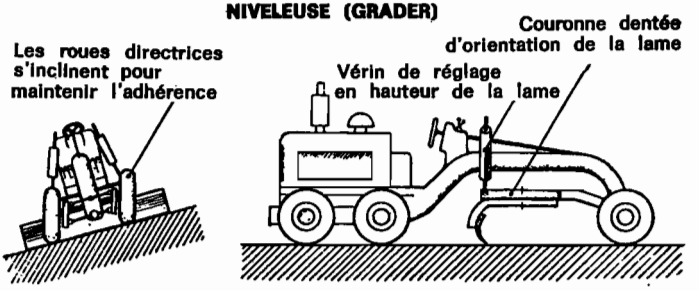
- **Scarificateur, ripper, rooter**

(voir matériel de défrichement).

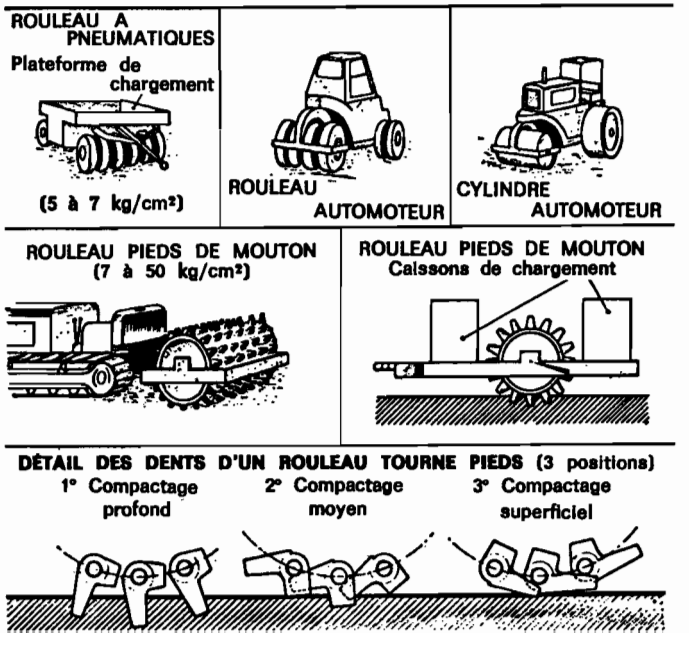
- **Matériel de compactage**

(voir schémas ci-après).

NIVELEUSE (GRADER)



MATÉRIEL DE COMPACTAGE



1.3.2. DONNEES DE BASE POUR L'ORGANISATION D'UN CHANTIER

	Action manuelle	Pelle de chantier + camions benne	Bouteurs		Décapeuses	
			T à chenilles	T à roues	T à chenilles	T à roues
Volume (m^3)	Quelques m^3	100 m^3	Au-delà de 100 m^3			
Vitesse d'avancement (km/h)			2 à 10	4 à 60	2 à 10	4 à 50
Distance du charroi (m)		Grandes distances	Quelques mètres	50	50 à 250	300 à 3 000

2. PRÉPARATION DU SOL

Avertissement

Le chapitre suivant comporte des données chiffrées qui ne se placent pas dans un système de mesures normalisé.

Il conviendrait de remplacer les ch par des W ou des kW (1 ch = 736 W) et le kgf par des N ou, plus simplement des daN (1 kgf = 1 daN) etc.

2.1. Définitions

— **Le sous-solage** désorganise les couches imperméables ou rocheuses profondes pour assurer un meilleur drainage et une meilleure aération, sans modifier la structure de la zone arable.

— **Le défoncement** retourne la terre sur une grande épaisseur, de 35 à 80 cm ; il désorganise les couches imperméables et permet la mise en place de cultures généralement arbustives à racines profondes.

— **Le labour** retourne la terre, expose les parties profondes à l'action des agents atmosphériques, accroît l'épaisseur de la terre vivante, contrarie les effets de lessivage vertical, détruit les mauvaises herbes et incorpore au sol fumier, amendements et engrais.

On distingue :

— labour de déchaumage : 4 - 6 cm de profondeur ;
— labour léger : 7 - 12 cm de profondeur ;
— labour moyen : 13 - 25 cm de profondeur ;
— labour profond : 26 - 35 cm de profondeur.

2.2. Sous-soleuses

Le sous-solage demande un effort de traction considérable, plus que proportionnel à la profondeur de travail. Le sous-solage doit être effectué de préférence en sol sec. En sol nu, les passages de dents sont effectués en général à des écartements sensiblement doubles de la profondeur.

Il existe des sous-soleuses draineuses qui mettent en place en fond de raie (sols humides) des drains en plastique. D'autres sont équipées d'obus traînés qui modèlent un conduit souterrain (travail en sol humide seulement).

Type de sous-soleuse	Profondeur de travail (en m)	Vitesse d'exécution (en km/h)	Puissance tracteur nécessaire (en ch)
1 dent modèle moyen ou lourd	0,50-0,60	2 à 4	30 à 70
2 dents modèle lourd	0,60	2 à 4	60 à 140

2.3. Charrues

2.3.1. CHARRUES À SOCS

2.3.1.1. Poids, dimensions, vitesse

- **Poids :**
  - — traînées : 200 à 500 kg par soc ;
  - — semi-portées : identiques à charrues portées, mais avec roues de contrôle en profondeur ;
  - — portées :
    moins de 100 kg/soc pour les 10″ (25 cm),
    plus de 200 kg/soc pour les 14″ (35 cm),
    parfois plus de 300 kg/soc.
- **Dimensions courantes des socs :**
  - — 10″ (25 cm) ;
  - — 12″ (30 cm) ;
  - — 14″ (35 cm) ;
  - — 16″ (40 cm).
- **Vitesse :**
  - — de 3 à 7 km/h selon le type de charrue, la nature et l'état du sol, la nature du labour.

2.3.1.2. Puissance nécessaire

La puissance nécessaire effectivement demandée par une charrue est toujours relativement faible, mais l'effort de traction que peut fournir le

tracteur dépend de son adhérence, le facteur limitant du « nombre de socs » que peut tirer un tracteur (notamment pour un tracteur à roues).

Exemple :

— résistance spécifique d'un sol lourd au labour : 60 kg/dm² ;
— charrue bi-soc de 12 labourant à 20 m de profondeur ;
— section labourée : 2 x 3 x 2 = 12 dm² ;
— effort moyen demandé au tracteur : 12 x 60 = 720 kg ;
— puissance à la barre demandée pour une vitesse de 3,6 km/h :
1 m/s x 720 kg/75 = 9,6 ch. Et pourtant un tracteur à roues d'au moins 50 ch sera nécessaire, simplement parce que la traction de 720 kg exigée ici ne pourra être fournie que si le tracteur pèse au moins 1 800 à 2 000 kg, ce qui correspond sensiblement au poids d'un tracteur de la gamme des 50 ch (en terre « agricole » l'effort de traction que peut fournir un tracteur est estimé à 40 % de son poids).

Donc, lorsqu'un constructeur dit qu'une charrue demande à être attelée à un tracteur d'au moins 50 ch, il veut dire que l'adhérence (mais non la puissance) nécessaire correspond à celle que peut fournir, à cause de son poids, un tracteur de 50 ch. Le tableau ci-après donne les « puissances » nécessaires dans le cas d'un tracteur à roues.

Largeur du soc en pouces	Puissances en chevaux		
	Mono-soc	Bi-soc	Tri-soc
10″	15-25	20-45	35-65
12″	20-35	35-65	50-95
14″	25-45	45-85	65-125
16″	30-55	50-105	80-150

2.3.1.3. Dégagement

• **Dégagement sur le plan horizontal**

Distance entre pointes de deux socs consécutifs mesurée dans le sens d'avancement (polysoc) ou entre la pointe du soc et les roues de l'avant-train (monosoc).

• **Dégagement sur le plan vertical** (min. 30 cm)

Distance verticale entre la pointe du soc et le dessous du bâti.

La notion de dégagement est très importante pour les labours en sols herbeux : un dégagement trop faible peut être une cause de bourrage.

2.3.1.4. Systèmes de sécurité

La plupart des charrues à socs sont équipées de systèmes de sécurité permettant l'effacement d'un soc devant un obstacle (par pivotement autour d'un axe).

On distingue trois grands systèmes :
— à boulon de cisaillement : après fonctionnement, il est nécessaire d'arrêter le tracteur, de remettre le soc en place et de remplacer le boulon ;
— à clichet : après fonctionnement, il suffit de relever légèrement la charrue et de reculer le tracteur pour réenclencher le soc ;
— non-stop : après passage de l'obstacle, le soc se remet en place automatiquement sans arrêt ou ralentissement du tracteur.

2.3.1.5. Types de charrues à socs

Les charrues de labour *stricto sensu* : les charrues simples sont utilisées pour réaliser des labours en planches ou en tournant. Les charrues réversibles 1/2 tour, 1/4 de tour, ainsi que les charrues « Roll-over » permettent le labour à plat.

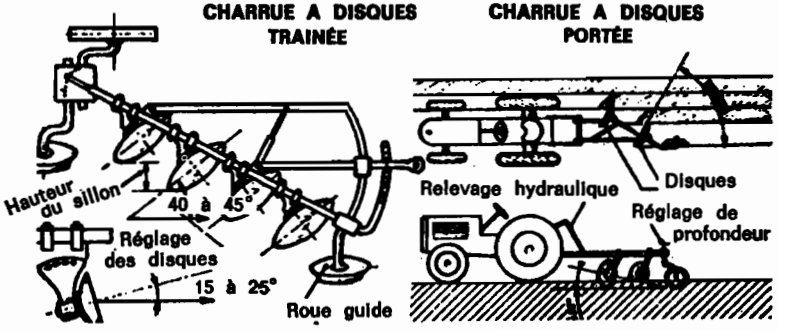
Les équipements (versoirs, coutres, rasettes, ...) sont très variés et permettent de s'adapter à presque toutes les situations de sol et de climat. Les charrues sont généralement utilisées entre 3 et 10 km/h selon le type.

Les charrues défonceuses peuvent travailler jusqu'à 80 cm de profondeur et nécessitent de fortes puissances. Les types simple ou balance sont utilisés en général avec un chenillard. Celles du type 1/4 de tour sont portées sur tracteur à roues.

Exemple :
— Labour de 60 cm de profondeur et 50 cm de largeur, $K = 100\ kg/dm^2$;
— Résistance à l'avancement 30 x 100 = 3 000 kg à 1 m/s = 3 000 kgm, soit 40 ch. Un tracteur de 140 ch DIN est nécessaire.

La puissance demandée (question d'adhérence comme pour les charrues à socs) est estimée entre 12 et 20 ch par disque, selon le diamètre des disques (620, 660, 710 ou 810 mm).

La largeur de travail par disque est réglable en fonction de l'attelage (réglage de l'angle d'attaque) et varie généralement de 10 à 12.



3. TRAVAIL SUPERFICIEL DU SOL

3.1. Instruments à disques

Ils se distinguent de la charrue par l'assemblage des trains de disques sur un axe unique et par le fait que les disques **travaillent perpendiculairement au sol** (angle d'entrure nul).

Les principaux types sont :

— les déchaumeuses ;
— les pulvériseurs.

3.1.1. LES DÉCHAUMEUSES

Elles comprennent un seul train de disques reposant sur une roue de guéret qui permet de régler la profondeur du travail.

Elles sont le plus souvent portées. Leur poids est généralement de 50 kg par disque lorsque ceux-ci ont un diamètre de 560 mm (22 pouces), 60 kg par disque lorsque ceux-ci ont un diamètre de 610 mm (2 pieds). Mais les modèles plus lourds, de conception américaine, sont généralement courants.

La « puissance » demandée (même réserve que pour la charrue) est de l'ordre de 4 à 5 ch/disque.

Ainsi un modèle courant, à 9 disques de 610 mm, pèse 480 kg et est prévu pour un tracteur de 45 ch.

La largeur de travail d'un disque est de l'ordre de 15 à 20 cm.

La vitesse de travail peut atteindre 10 km/h mais reste généralement bien inférieure à ce chiffre.

3.1.2. LES PULVÉRISEURS

Ils sont composés de plusieurs trains de disques assemblés :

— en X = pulvériseurs-tandem ;
— en V = cover-crop ou offset.

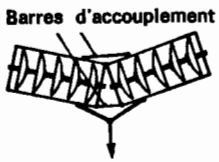
Etant donné que la **dimension des disques** varie suivant les modèles :

— 500 mm pour les modèles légers ;
— 560 ou 600 mm pour les modèles moyens ;
— 660 ou 711 mm pour les modèles les plus lourds (du type défrichement), et que **l'écartement entre disques** est également variable (moins de 20 cm entre les disques pour les modèles légers, 28 ou même 32 cm pour les modèles les plus lourds) il est difficile de donner un chiffre systématique pour le poids et la puissance nécessaires par disque.

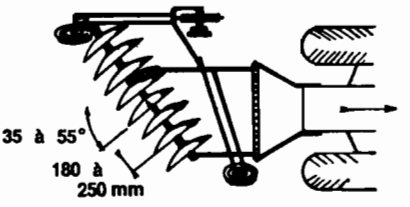
A titre d'exemple on peut avoir les caractéristiques suivantes :

— Modèle **porté et léger** comprenant 2 trains de 6 disques de 500 mm :
  — poids : 280 kg ;
  — largeur de travail : 1,30 m ;
  — pronfondeur moyenne : 18 cm ;
  — puissance requise (1) : 12 à 18 ch.
— Modèle **traîné et lourd** comprenant un premier train de 11 disques de 660 mm et un second train de 10 disques de 711 mm :
  — poids : 2 600 kg ;
  — largeur de travail : 2,80 m ;

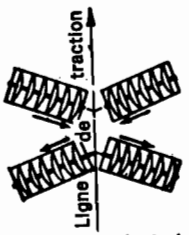
PULVERISEUR SIMPLE



DECHAUMEUSE TRAINEE

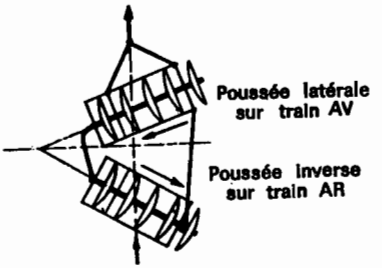


PRINCIPE
D'UN PULVERISEUR TANDEM



Les poussées latérales dues à la résistance de la terre sont opposées entre les trains de disques Avant et Arrière et s'annulent. La traction centrale est parfaitement équilibrée.

PULVERISEUR OFFSET
COVER-CROP



Les poussées latérales créent un mouvement de giration qui est compensé par le décalage de l'axe de traction.

— profondeur moyenne : 28 cm ;
— puissance requise (1) : 60 à 70 ch ;
— type de tracteur : à chenilles.

Qu'il s'agisse de pulvériseurs « offset » ou « tandem » les caractéristiques sont comparables et les chiffres donnés ci-dessus correspondent aux deux extrémités de la gamme des pulvériseurs généralement proposés. La vitesse d'utilisation peut varier de 3 à 7 ou 8 km/h. Le tableau (voir page suivante) rassemble les caractéristiques principales des instruments à disques.

3.2. Instruments à dents et à pointes

Ils peuvent à la fois exécuter des pseudolabours, intermédiaires entre labour et hersage tout comme les pulvériseurs et déchaumeuses à disques, et assurer l'entretien des cultures en place.

(1) Il s'agit de puissance à la barre.

Les châssis traînés (ou portés) sont équipés d'un système de réglage parallélogramme :

— lorsqu'ils reçoivent des dents souples, semi-rigides ou rigides portant les pièces travaillantes (socs) on a **un cultivateur**,

— lorsqu'ils reçoivent des dents rigides sans socs, on a **une herse**.

3.2.1. CULTIVATEURS

Suivant le montage et la forme des pièces travaillantes, on distingue :

— scarificateurs ;

— extirpateurs ;

— cultivateurs.

En général, les scarificateurs ont des étançons rigides ; les extirpateurs ont des étançons peu souples. Quant aux cultivateurs leurs étançons sont souples ou articulés.

La conception des cultivateurs varie considérablement d'un fabricant à un autre. Il existe des modèles très légers et des modèles lourds, aussi est-il difficile de préciser les poids qui sont les plus courants. De même l'emprise ou largeur de travail peut varier du simple au triple environ (par exemple 1,30 m à 3,20 m) en formules portée et semi-portée.

La position des étançons est réglable mais la largeur de travail pour chacun est de l'ordre de 20 cm. Quant à la profondeur, elle peut aller de quelques centimètres avec les dents de sarclage à 15 cm avec celles de cultivateur.

Voici un exemple de poids, de largeur et de puissance pour deux modèles :

a) **Modèle léger :**

Nombre de dents	7 dents	9 dents	11 dents	13 dents
Largeur de travail.	1,30 m	1,70 m	2,10 m	2,40 m
Poids total	164 kg	182 kg	216 kg	235 kg
Puissance à la barre	10 à 16 ch	16 à 22 ch	22 à 28 ch	28 à 32 ch

b) **Modèle lourd :**

Nombre de dents	11 dents	13 dents	15 dents	17 dents
Largeur de travail.	2,20 m	2,60 m	3 m	3,40 m
Poids total	280 kg	324 kg	380 kg	420 kg
Puissance à la barre	25 à 30 ch	30 à 35 ch	35 à 40 ch	40 à 45 ch

Angle d'entrure	Charrues réglables 15°-25°	Déchaumeuses 0°	Pulvériseurs - 0°	
			Tandem en X	Offset-Cover crop
Diamètre des disques { moy. / max.	660 à 771 mm 1,27 m	510 à 560 mm 660 mm	450 à 500 mm 560 mm	560 à 610 mm 660 mm
Ecartement entre disques ...	Dégagement de 60 à 100 cm	20 cm	16 cm	18 à 25 cm
Angle de coupe	40 à 50°	36 à 45°	Maximum 25°	Maximum 25° pour chaque train
Nombre de disques { portés / traînés	1 à 8	4 à 8 4 à 15	12 à 52	10 à 56
Poids moyen par disque { porté / traîné	100-500 150-600	60 kg 120 kg	25 kg 20-60 kg	30 à 40 kg 40 à 100 kg
Largeur de travail par disque.	25 à 30 cm	15 à 20 cm	12 à 15 cm	15 à 20 cm
Vitesse de travail		5 à 8 km/h		
Puissance absorbée par disque	12 à 20 ch	4 à 7 ch	1 à 2 ch	2 à 3 ch
Profondeur maximum de travail	30 à 40 cm	15 cm	12 cm	15 à 20 cm
Montage	Châssis à roues : stabilité.	Châssis à roues : stabilité.	Châssis à poussées opposées.	Châssis à poussées opposées.
Réglage de profondeur	Angle et leviers	Leviers de reglage.	Angle et caisse de chargement.	Angle et caisse de chargement.
Utilisation principale	Labour	Déchaumage, labours légers.	Travaux légers de nivellement.	Enfouissage de paille, labours légers.

La vitesse d'utilisation est très variable selon le type de dent utilisé ; elle peut aller de 3 à 8 km/heure.

Le cultivateur demande un effort de traction de 20 à 50 kg par dent.

DIFFERENTES FORMES DE DENTS DE CULTIVATEUR



Dent rigide escamotable à ressort — **Dent spiralée** — **Dent flexible épaulée par un ressort** — **Dent plate simple**

Parmi la gamme des instruments extirpateurs, les « chisels » sont utilisés de préférence pour le déchaumage et dans les terrains caillouteux et argileux. Les dents montées de façons différentes (simple, double-spire, avec ou sans ressorts) présentent un dégagement sous châssis important : plus de 80 cm sur certains modèles.

3.2.2. HERSES À DENTS RIGIDES

Pièce travaillante : pointe à section carrée de 10 à 20 mm de côté et de 15 à 28 cm de longueur utile. Travaille verticalement par une de ses arêtes, sur une largeur de 25 à 30 mm de terre. La largeur non travaillée entre le passage de 2 pointes ne doit pas excéder 50 mm. Sur une même traverse les dents doivent être écartées au maximum.

En motorisation, la largeur de travail est généralement de 3 m à 3,50 m avec 60 dents. Dans ce cas, la puissance du tracteur doit être d'environ :

— 20 ch avec des dents de 18 cm ;
— 25/30 ch avec des dents de 22 cm ;
— 35/40 ch avec des dents de 28 cm.

La vitesse d'avancement doit être réduite à 5-6 km/h pour éviter les détériorations des pointes ou du bâti.

3.2.3. HERSE CANADIENNE

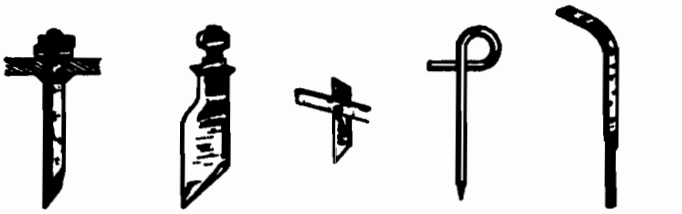
Pièce travaillante : dent semi-rigide munie d'un soc analogue à celui d'un cultivateur.

Les dents sont montées sur un axe supporté par un châssis-traîneau. Un levier fixé sur le châssis et agissant sur l'axe permet de régler la profondeur du travail.

3.2.4. AUTRES TYPES DE HERSES

Il existe des herses à dents vibrantes et des herses roulantes de différents types (à cages, à bêches, ...) qui sont souvent associées à des instruments à dents ou à des instruments commandés par prise de force.

DIFFERENTES POINTES DE HERSE



Pointe de herse classique | Pointe de régénérateur de prairie | Pointe émoussante | Pointe de herse flexible | Pointe flexible de herse dite « weeder »

3.3. Instruments commandés par prise de force

D'un développement récent, ils existent en plusieurs types, utilisant des mouvements rotatifs ou alternatifs. Ce sont les outils qui utilisent le mieux la puissance du tracteur.

Ils peuvent servir à tous les travaux concernant la totalité de l'horizon cultural.

On distingue :

— les fraises et les houes rotatives : constituées par un axe horizontal perpendiculaire au sens de déplacement, portant des flasques munies de pièces travaillantes ;
— les herses rotatives : constituées de pièces travaillantes montées sur des flasques tournant autour d'axes verticaux ;
— les herses alternatives : constituées de pièces travaillantes verticales montées sur un dispositif permettant un mouvement alternatif perpendiculaire au sens d'avancement ;
— les outils de grandes largeurs sont équipés de prise de force débouchante permettant l'association avec un semoir pneumatique, un épandeur...

3.3.1. FRAISES ET HOUES ROTATIVES

— Profondeur de travail de 0 à 25 cm ;
— résistance à l'avancement nulle : ils tendent à faire avancer le tracteur ;
— vitesse de rotation du rotor : de 150 à 250 tr/mn environ, selon les modèles et la présence (ou non) de boîte de vitesses sur l'outil ;
— vitesse d'avancement usuelle : de 1,2 à 6 km/h, en fonction de la profondeur de travail et de l'émiettement recherchés ;
— types d'outils adaptables sur les flasques : griffes à ressort, lames en L, lames droites, lames vrillées, dents carrées ou rondes... à choisir en fonction du sol, de son état et du travail recherché ;
— un rouleau arrière est indispensable pour rappuyer le sol (packer, cage, à doigts, ...).

Exemples de largeur de travail et de poids selon les différents modèles :

	Largeur de travail	Poids	Puissance requise
Modèles légers	0,80 m	196 kg	Min. 15 ch
	1,30 m	250 kg	
	1,55 m	280 kg	Max. 30 ch
Modèles lourds	1,30 m	590 kg	Min. 45 ch
	1,55 m	635 kg	
	1,80 m	690 kg	
	2,05 m	740 kg	Max. 100 ch
	2,55 m	870 kg	

Vitesse d'avancement : elle peut aller de 1,2 km/h, si une pulvérisation très fine du sol est recherchée, à 3,6 km/h si on se contente d'un ameublissement grossier.

Exemple : pour une vitesse du rotor de 200 t/mn :

— une vitesse de 1,2 km/h provoquera des « copeaux » de 5 cm

— une vitesse de 3,6 km/h provoquera des « copeaux » de 15 cm

Certaines roues rotatives ont une boîte de vitesses qui permet pour un régime constant à la prise de force (545 tr/mn) quatre combinaisons de vitesse du rotor, par exemple 154, 173, 193, 217 tr/mn.

3.3.2. HERSES ROTATIVES ET CULTIVATEUR ROTATIF

— Profondeur de travail : de 0 à 25 cm en reprise de labour pour les herses, en passage direct pour les cultivateurs ;

— chaque rotor est équipé de deux dents qui peuvent être de plusieurs types (lames rondes, carrées) et de différentes longueurs (de 30 à 40 cm). Les cultivateurs peuvent être équipées de dents à inclinaison variable ;

— vitesse d'avancement usuelle : inférieure à 4,5 km à l'heure en général ;

— un rouleau arrière est souvent nécessaire pour limiter la profondeur de travail des houes (cage, packer, cultibrasseur, à doigts, à disques...).

3.3.3. HERSES ALTERNATIVES

— Profondeur de travail : de 0 à 25 cm en reprise de labour ;

— deux rangées de dents en général de section triangulaire et de 25 à 30 cm de longueur ;

— un rouleau (packer, cage, ...) est nécessaire à l'arrière ;

— vitesse d'avancement et effort de traction, fonction du sol et de son état : moins de 4,5 km/h usuellement.

4. SEMIS

Le semis peut être réalisé à la volée ou en lignes.

4.1. Semis à la volée

Il peut être réalisé soit par avion (distribution par Venturi) soit par des appareils au sol, de trois façons :

— à l'aide d'épandeurs centrifuges, transformés ou non (exemple : semis du paddy à l'aide d'épandeurs modifiés, à moteur auxiliaire ;
— à l'aide d'une trémie montée sur un outil de culture (pulvériseur à disque, rouleau ou ensemble de rouleaux, houe rotative commandée) et muni d'un système de distribution à orifices multiples, mais non de tubes de descente ;
— à l'aide d'épandeurs pneumatiques

4.2. Semis en ligne

Les semoirs en ligne se divisent en deux grandes catégories très distinctes : types continus (drill) et en poquets (planter).

Tous ont des organes de distribution et des organes de mise en terre.

4.2.1. SEMOIRS DU TYPE CONTINU (à céréales, à rangs multiples)

Ils comprennent :

— une trémie commune à plusieurs lignes de semis, placée à une hauteur relativement grande au-dessus du sol ;
— un ensemble de distributeurs synchronisés (un élément par ligne) placé à la partie inférieure de la trémie ;
— un tube de descente plus ou moins souple et un ensemble de mise en terre, par ligne.

La distribution peut se faire, dans un ordre approximatif de précision croissant :

— par voie pneumatique ;
— par éléments rotatifs divers (turbines, balais, etc.) ;
— par cylindres cannelés ;
— par cuillers ;
— par voie centrifuge ;
— par cylindres à ergots.

Le débit de la distribution peut être réglé, avec plus ou moins de précision et de possibilités de choix, suivant les modèles, soit par modification continue ou discontinue de la capacité des organes distributeurs (semoirs à cuillers, à cylindres cannelés, à distribution centrifuge), et par modification de la vitesse de leur rotation (donnant 2 ou 3 possibilités), soit par seule modification de la vitesse de rotation (semoirs à ergots), à l'aide d'une boîte de vitesse complexe (donnant jusqu'à 150 combinaisons).

La mise en terre comprend l'ouverture d'un sillon (par un soc double ou « botte », par un disque ou par deux disques), le dépôt de la graine par chute libre, la fermeture du sillon (chaîne, petit élément de herse, petit rouleau).

Les semoirs du type drill sèment **en lignes continues.** Certains modèles cependant comportent un dispositif d'accumulation qui permet le semis en poquets.

L'entraînement de leur distribution se fait toujours avec prise de mouvement sur roue porteuse (sauf pour la voie pneumatique qui fait appel à la prise de force du tracteur).

4.2.2. SEMOIRS DU TYPE EN POQUETS (monorangs, monographes, de précision)

Ils comprennent, pour chaque ligne, un élément de semoir complet avec :
— une trémie ;
— un distributeur, tous deux placés très près du sol ;
— un ensemble de mise en terre.

La distribution peut se faire :
— par courroie perforée ou courroie à écartement variable ;
— par tambour d'axe horizontal (avec alvéoles sur la surface du cylindre) ;
— par plateau ou disque (avec cavités le traversant), incliné ou horizontal ;
— par cuillers (« en étoile ») ;
— par rétention (et parfois aussi par éjection) pneumatique.

Ces semoirs sèment, *en principe*, en poquets ou graine par graine à écartements fixes. On leur demande donc autre chose qu'aux drills. Leur précision (régularité de la densité du semis sur la ligne et meilleure régularité de la distance entre poquets ou entre graines) est plus grande que celle des drills, à cause de la faible hauteur de chute libre des graines (1 à 10 cm au lieu de plusieurs décimètres). Elle est variable suivant les modèles, pour chacun des systèmes cités (les plus précis pourraient se trouver parmi les modèles à tambour, à courroie, et pneumatiques).

Les organes d'enterrage, précédés parfois d'un coutre, peuvent être à botte longue ou courte ou à disques pour l'ouverture du sillon. La roue plombeuse est généralement de grand diamètre.

L'entraînement de la distribution se fait soit par la roue plombeuse, soit par la prise de force du tracteur (prise de force synchronisée avec l'avancement du tracteur).

Des semoirs du type drill peuvent être utilisés en terrain non labouré (sod seeders), mais les semoirs de type planter, de modèles spéciaux, ont davantage de possibilités dans ce domaine (méthodes de travail minimal du sol et de culture sans retournement du sol).

Semoirs drill et planter peuvent recevoir des organes de distribution (et d'enterrage) d'engrais et de désherbants.

5. RÉCOLTE

5.1. Maïs

On distingue :
— les machines équipées de becs cueilleurs-épanouilleurs (corn picker) qui arrachent l'épi des tiges. Les épis sont ensuite stockés. Ces machines peuvent être portées (1 rang), traînées (2 ou 3 rangs) ou automotrices (2 à 4 rangs) ;

— les batteuses avec becs cueilleurs (corn sheller). La tête de récolte est identique aux machines précédentes, mais les épis sont battus et le grain vanné avant d'être stocké dans la trémie. Ces machines sont des automotrices (de 2 à 5 ou 6 rangs).

On peut aussi équiper les moisonneuses-batteuses en remplaçant la table de coupe par des becs cueilleurs et en faisant les quelques adaptations nécessaire au systéme de battage.

Temps de travaux :

— 1 rang corn picker : 5 h/ha ;
— 3 rangs automoteurs : 1,5 h/ha ;
— 4 rangs corn scheller : 1 h/ha ;
— 4 rangs moisonneuse-batteuse : 1 h/ha.

5.2. Arachide

On distingue trois types d'équipement pouvant être associés pour donner une chaîne de récolte motorisée :

— la souleveuse d'arachide simple, fonctionnant sur le même principe que celle à traction animale. La puissance absorbée est de l'ordre de 15 ch par métre de largeur de travail. Matériel à lame, à cerceau... ;
— la souleveuse-secoueuse (andaineuse) : les souleveuses précédentes sont complétées par un tablier secoueur et un dispositif (2 « râteaux » en bout de tablier) permettant de regrouper les pieds d'arachide. Ces matériels traînés — portés, animés par prise de force arrachent le plus souvent 4 rangs, jumelés deux à deux ;
— la ramasseuse-batteuse : matériel tracté, équipé d'un pick-up et de batteurs (2 ou 3) successifs qui séparent les gousses des fanes et nettoient par ventilation le produit fini (gousses). Cette machine est l'équivalent des moisonneuses-batteuses pour céréales.

Quelques temps de travaux :

— souleveuse = 1,5 à 2 h/ha ;
— andainage complémentaire éventuel = 1,2 h/ha ;
— ramassage battage = 1,5 à 3,5 h/ha.
Efficacité : 65 à 75 % en temps.

5.3. Coton

5.3.1. COTTON-PICKER

Il travaille en général sur deux rangs : le cotonnier est serré entre deux tambours constitués par une cage de barres verticales et dont la vitesse de rotation est telle que chaque barre a une vitesse relative nulle par rapport au cotonnier.

Chacune des barres (15 environ) est garnie d'aiguilles munies de crochets, et tournant autour de leur axe (horizontal). Ces aiguilles, pénétrant dans la masse du plant, permettent l'extraction des fibres sur les capsules mûres. À l'intérieur de l'appareil, les aiguilles sont débarrassées de la fibre préalablement humidifiée qui est envoyée par une soufflerie dans une caisse située sur l'appareil.

Les tambours ont des hauteurs différentes (14 ou 20 aiguilles par barre) permettant de les adapter à la taille des plants à récolter.

Il y a une ou deux vitesses de marche utilisées suivant que la récolte est importante (3 km/h) ou non (4,5 km/h).

— Récolte de 2,5 à 3,5 ha par journée de 10 h.
— Force de traction requise 15 à 20 ch.
— Récolte totale en 2 passages, 3 au maximum.

5.3.2. COTTON-STRIPPER

Appareil beaucoup plus rustique arrachant les capsules entières.

Cette solution est la plus économique dans les régions où le climat permet aux variétés adaptées une maturation très groupée. A ces conditions, il est possible qu'elle s'étende au détriment du Cotton Picker.

5.4. Céréales

5.4.1. MOISONNEUSES-BATTEUSES

Matériel classique identique à celui utilisé dans les pays non tropicaux.

On a utilisé des moisonneuses spécialisées montées sur chenilles. La tendance actuelle est à l'emploi de moissonneuses polyvalentes équipées soit de chenilles, soit de pneumatiques de boudins très larges à l'avant avec des roues arrières munies de pneus normaux.

Elles sont économiquement utilisables à partir de 70 ha/an au minimum.

Caractéristiques importantes :

— lame de coupe robuste et largement réglable en hauteur ;
— rabatteurs réglables aisément en cours de travail ;
— les batteurs (battes striées de préférence aux lisses) exigent une vitesse lente (1 000 tr/minute maximum) ; les batteurs à dents sont préférables ;
— les secoueurs doivent être largement calculés et les grilles adaptées à la variété ;
— élévateurs largement dimensionnés — chaîne ou vis de préférence à transport pneumatique ;
— des petites moissonneuses-batteuses automotrices de conception nouvelle ont été mises au point au Japon.

De fait, c'est l'adaptation rizicole qui a connu quelque vulgarisation. Elle se différencie du matériel conventionnel par sa " surface " de battage plus grande au niveau du batteur par la surface de ses grilles (nettoyage poussé), par sa boîte de vitesse (présence de vitesses lentes), l'adaptation de chenilles ou de pneus — " riz " de grands gabarits, etc.

Le comportement de la moisonneuse-batteuse dépend étroitement :

— de sa vitesse d'avancement fonction du rendement de la culture,
— de la propreté de cette dernière,
— de la maturité de cette dernière,
— du rapport paille/grain dans la variété.

Le vieillissement d'une moissonneuse interfère très vite avec sa disponibilité au champ. C'est un matériel dont la rentabilité est parfois difficile à assurer.

5.4.2 FAUCHEUSE-LIEUSES ET FAUCHEUSES-ANDAINEUSES

Elles ont connu et connaissent le succès en pays asiatiques ; peu encore en Afrique. Dans les premier cas, des matériels européens sont présentés comme possibles avec des rendements de 3 à 6 h/ha. Mais, la hauteur du riz par exemple, comparée à celle de la table de coupe est déterminante. Et la ficelle nécessaire pose un problème de prix. Dans le deuxième cas, on assiste à une relance de l'idée avec un matériel d'origine IRRI, diffusé dans les pays du Sud-Est asiatique, à titre expérimental.

5.4.3. ÉGRENEUSE DE CÉRÉALES SUR PIED

C'est une machine automotrice permettant la récolte des céréales sans coupe de la paille. Le batteur est disposé à la hauteur des panicules et les bat ; les grains sont ensuite repris par une vis sans fin pour être ensachés. Un système diviseur-ameneur permet de relever les pailles versées. Sa largeur de travail est de 0,50 m à 0,60 m. Un porte-outils entraîne la caisse de battage. L'ensemble de la machine est léger : 650 kg, la puissance du moteur est faible : 6 kW. La machine peut travailler dans les terrains humides grâce à ses pneus basse pression et même sous lame d'eau avec un équipement de roues-cages.

Il est possible de monter une trémie pour stocker les grains et un système de nettoyage.

5.4.4. BATTEUSES A POSTE FIXE

Dans tous les cas il faut rechercher malgré tout la facilité de déplacement (roues pneumatiques).

Pour battage sur champ :

Sans absorption de la paille ou sans dispositif de nettoyage.

Puissance faibles (quelques ch), débit faible 300 à 600 kg paddy/heure. Légèreté.

Pour battage hors du champ :

Puissance 5 à 8 ch, débit 600 à 900 kg paddy-heure, il existe des modèles permettant d'atteindre 3 t paddy/heure.

Il existe des types à table d'alimentation automatique qui peuvent être alimentés avec des épis coupés très courts : 2 à 4 ch, 800 kg/heure. Des systèmes de table d'alimentation inclinée permettent d'approvisionner aisément le batteur.

Des batteuses japonaises du type à paille tenue permettent d'atteindre des rendements relativement élevés.

5.5. Fourrages

5.5.1. BARRES DE COUPE

En culture mécanique elles sont généralement semi-portées et latérales, la largeur du travail oscillant entre 1,50 à 2,20 m et exigeant des tracteurs de 25 à 40 ch. Vitesse de fauche : environ 6 km/h.

Il existe également des barres de coupe, fonctionnant avec un petit moteur, montées sur un châssis pouvant être tracté par un animal.

5.5.2. RÉCOLTEUSE - HACHEUSE - CHARGEUSE

Ces matériels appliquent un procédé de récolte qui consiste à couper, hacher et charger simultanément le fourrage ou la broussaille, grâce à une seule machine remorquée et entraînée par un tracteur.

Lorsque des récolteuses-hacheuses-chargeuses robustes sont prévues pour les débroussaillements légers, le hachage des matiéres végétales permet leur facile réincorporation au sol, sans risque de gêne pour les travaux agricoles ultérieurs.

On distingue les récolteuses à fléaux, et les récolteuses à couteaux qui coupent et hachent simultanément. Mais dans le premier cas la forme et la disposition des fléaux permettent une ventilation suffisante pour assurer le chargement, alors que dans l'autre cas le chargement est assuré par un ventilateur muni de couteaux permettant de parfaire le hachage.

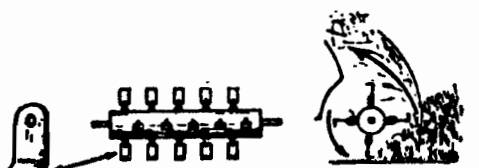
Les récolteuses à fléaux possédent des rotors d'une largeur de 1 m à 1,50 m et absorbent à la prise de force des puissances comprises entre 20 et 35 ch pour des débits sur fourrage vert de 7 à 12 t/heure.

Il existe des débroussailleuses trés puissantes d'un principe analogue.

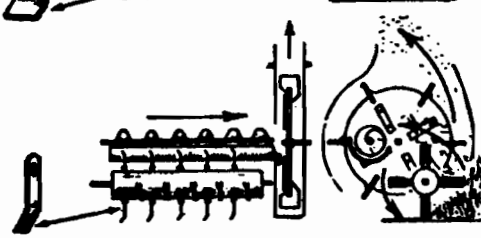
Dans les récolteuses à barre de coupe le hachage est effectué par mécanisme séparé.

Les récolteuses à couteaux ont des rotors de 1,50 à 1,80 m de large et absorbent à la prise de force des puissances comprises entre 30 et 40 ch pour les débits en fourrage vert de l'ordre de 15 à 20 t/heure.

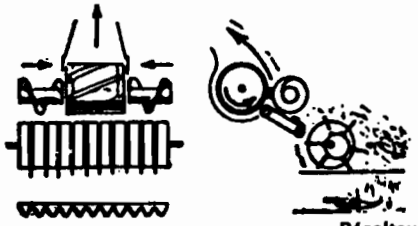
DIFFERENTS PRINCIPES DE HACHAGE MOBILE AUX CHAMPS



Récolteuse à fléaux



Récolteuse à couteaux



Récolteuse à barre de coupe

5.5.3. RAMASSEUSE-PRESSE

Selon que la machine est à faible, moyenne ou haute densité (ce qui se traduit par une conception différente : piston oscillant ou piston rectiligne), selon également la section du canal, la puissance mise en jeu varie considérablement.

Les plus légères pèsent moins de 600 kg et peuvent être du type à moteur auxiliaire, ou à prise de force ; leur largeur de ramassage est de l'ordre de 1 mètre et la puissance réelle demandée varie de 5 à 10 ch.

Les plus lourdes, à haute densité, pèsent plus de 1 600 kg, ont une largeur de ramassage supérieure à 1,60 m et demandent une puissance pour leur entraînement de 30 à 45 ch.

5.6. Canne à sucre

— RÉCOLTEUSES EN VRAC : PUSH-RAKE (HAWAÏ).
Lourd râteau monté sur chenillard avec deux dents coupantes et coudées, que l'on place dans l'axe des rangs de canne avant de pousser à la manière d'un bouldozeur.

— RÉCOLTEUSES EN VRAC : V. CUTTER 2 lames en V et couteau circulaire porté sur tracteur à chenilles ou à 4 roues motrices.

— RÉCOLTEUSES EMPILEUSES : (AUSTRALIE)
Machines simples qui coupent, éciment et disposent les cannes en piles régulièrement espacées sur le sol.

— RÉCOLTEUSES ANDAINEUSES : (USA)
Les plus connues disposent les cannes en travers des rangs, elles sont munies d'un bras andaineur permettant de rassembler 5 à 6 rangs sur le même andain. Apparition récente de récolteuses andaineuses en long (MAC CONNEL) offrant plus de difficultés pour la reprise des cannes sur le sol.

— RÉCOLTEUSES - TRONÇONNEUSES - CHARGEUSES
Les plus complètes des récolteuses puisque réalisant toutes les opérations en un seul passage. Le tronçonnage permet une meilleure manipulation de la canne et rend possible le chargement simultané tout en augmentant la densité. C'est la formule qui connaît le plus grand essor, 95 % des ventes mondiales actuelles (MASSEY FERGUSON - TOFT - CLAAS - CAMECO). Rendement pratique de l'ordre de 25 t/h.

RENDEMENTS MOYENS PRATIQUES
EN CULTURE MOTORISEE

NATURE DU MATERIEL			NATURE du travail	RENDEMENT moyen
Charrues de motoculture	sous-soleuses		profondeur 0,80 m	0,25 ha/h
	draineuses		profondeur 0,50 m	0,7 km/h
	charrues à socs traînées		profondeur 0,20 m	0,08 ha/h/soc
	charrues à socs portées		profondeur 0,20 m	0,10 ha/h/soc
	charrues à disques traînées		profondeur 0,20 m	0,08 ha/h/disque
	charrues à disques portées		profondeur 0,20 m	0,07 ha/h/disque
Déchaumeuses	à socs		profondeur 0,10 m	0,08 ha/h/soc
	à disques		profondeur 0,10 m	0,06 ha/h/disque
Pulvériseurs	en X		profondeur 0,07 m	0,40 ha/h/mètre
	cover-crop		profondeur 0,09 m	0,40 ha/h/mètre
Cultivateurs ou canadiens			profondeur 0,10 m	0,33 ha/h/mètre
Herses			profondeur 0,09 m	0,33 ha/h/mètre
Rouleaux				0,25 ha/h/mètre
Houes rotatives à prises de force			profondeur 0,07 m	0,18 ha/h/mètre
Semoirs en lignes				0,20 ha/h/mètre
Epandeurs d'engrais	classiques			0,50 ha/h/mètre
	centrifuges			3 ha/h
Epandeurs de fumier			40 T/ha	0,40 ha/h
Eparpilleurs de fumier			30 T/ha	1 ha/h
Moissonneuses-batteuses	tractées	1,20 m		10 qx/h
		1,80 m		15 qx/h
		2,40 m		25 qx/h
	automotrices	1,80 m		13 qx/h
		2,50 m		25 qx/h
		3 m		40 qx/h

CONDITIONS MOYENNES DE VITESSE POUR L'EXECUTION DES TRAVAUX AGRICOLES COURANTS AVEC LE TRACTEUR

	TRAVAIL	VITESSES Courantes d'exécution
PREPARATION DU SOL	Sous-solage	1 à 4 km/h
	Labour (socs)	3,6 à 6 km/h
	Labour (disques)	4,5 à 6 km/h
	Déchaumage (socs)	4 à 7 km/h
	Déchaumage (disques)	4 à 8 km/h
	Hersage	3 à 8 km/h
	Roulage	5 à 8 km/h
	Canadiennage	3 à 7 km/h
	Pulvérisage	3,6 à 7,2 km/h
	Passage de houe rotative	0 8 à 2 km/h
SEMIS ET EPANDAGES	Semis (en lignes)	4 à 8 km/h
	Semis de précision	2,5 à 3 km/h
	Plantation semi-automatique	1,5 à 2 km/h
	Repiquage	0,3 à 1,5 km/h
	Epandage d'engrais	3,6 à 10 km/h
	Eparpillage de fumier	3 à 5 km/h
	Epandage de fumier	4 à 6 km/h
	Binage	2,5 à 6 km/h
	Buttage	2,5 à 3,6 km/h
	Traitement antiparasitaire liquide	6 à 8 km/h
	Traitement antiparasitaire en poudre	5 à 15 km/h
RECOLTE	Fauchage	3 à 7,2 km/h
	Fanage	3 à 8 km/h
	Andainage	4 à 8 km/h
	Pressage-ramassage	3 à 6 km/h
	Ramassage-chargement	2 à 4 km/h
	Fauchage-hachage-chargement	3 à 5 km/h
	Arrachage	2 à 5 km/h
	Moissonnage-liage	4 à 6 km/h
	Moissonnage-battage	2 à 6 km/h
	Corn-pickage	2 à 5 km/h
	Transport en charge	4 à 12 km/h

On assiste actuellement à la disparition de bon nombre de grandes marques, traduisant les problèmes posés par un marché très étroit.

À l'étude et en essais, à La Réunion, un nouveau matériel : la RÉCOLTEUSE EN CANNE ENTIÈRES, devrait permettre une organisation des chantiers plus souple et des délais d'approvisionnement de l'usine moins stricts.

6. APPAREILS SPÉCIAUX POUR RIZICULTURE INONDÉE

6.1. Appareils de terrassement

Deux types de montage :

— lames refouleuses (angle dozer, bulldozer) montées à l'avant de tracteurs à roues de type « travaux publics » ;
— transformation de tracteurs en motorgrader par modification du train avant.

Types d'appareils :

— décapeuses inférieures à 1 m^3 ;
— ravaleuses ;
— landplanes : longueur 12 m et 30 ch ou 18 m et 80 ch ;
— billonneuses (ridgers), à disques ou à socs en V ;
— fossoyeuses (ditchers) :
  - à disques : ridger à l'envers,
  - à versoirs,
  - fraises à fossés pour tracteur 20 à 30 ch.

6.2. Appareils de « mise en boue »

Elle se fait par tracteurs à roues-cages.

Pression :

— D'un tracteur de 1 500 kg (35 à 45 ch) :
  - à roues cages..... 260 g/cm^2
  - à pneus..... 830 g/cm^2
— D'un bœuf de 375 kg..... 700 g/cm^2

Il faut deux passages à huit jours d'intervalle : le premier avec le maximum d'eau compatible avec la bonne marche du tracteur, le second avec très peu d'eau.

Durée du piétinage :

— Sur parcelles sans diguettes :
  - 1 h 50 à 3 h 50 : moyenne 2 h 45 pour le 1er passage,
  - 1 h 10 à 2 h 40 : moyenne 2 h pour le 2e passage.
— Sur petites parcelles avec diguettes le temps moyen s'élève à 4-5 h/ha.

Conditions d'utilisation : possibilités mesurées par la pénétration d'une sonde de 1 cm^2 de section pesant 1 kg et tombant de 1 m de haut :

— Sol impraticable..... 30 cm
— Sol piétiné..... 7 à 25 cm
— Sol trop dur ..... moins de 5 cm.

6.3. Semis, repiquage, sarclage

— **Semis direct :**

- à la volée :
  par épandeur centrifuge (modifié — pour paddy sec ou prégermé),
  par avion (dans l'eau) : 150 ha avec 3 UTH par jour.
- en lignes :
  avec semoir à céréales (à sec),
  avec semoir spécial (à paddy prégermé), sur petits billons (dans une boue cohérente).

— **Repiquage :**

Il existe un matériel japonais parfaitement au point qui peut avantageusement remplacer le repiquage manuel en fonction des conditions économiques locales.

— **Sarclage :**

Sarcleuse rotative spéciale.

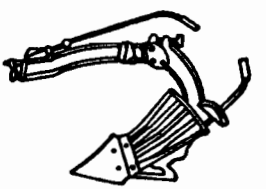
Le désherbage est essentiellement manuel, ou se fait avec des outils manuels. — Herbicides. (cf. chap. XII, Le Riz).

6.4. Tillers

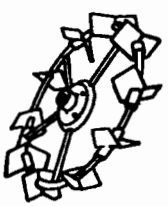
Motoculteurs à grand dégagement dont les roues peuvent être remplacées par des pièces travaillantes rotatives ; relativement légers 80 à 120 kg ; 2,5 à 8 ch.



Tiller avec roues-cages et planche à niveler (Japon)



Charrue pour motoculteur (Japon)



Roue de motoculteur pour travail en sol inondé (Japon)



Roue « float » (Japon)



Roue « Swamp » (Japon)

Equipements possibles :
— roues cages et planche à niveler ;
— charrues ;
— roues pour travail en sol inondé ;
— roues Float ;
— roues Swamp.

Il est aussi possible, à la place des roues, de monter des tambours rotatifs, équipés de lames.

Vitesses de rotation : de 30 tr/mn à 120 tr/mn.

Les travaux réalisables sous lame d'eau sont les suivants :
— labours à 13 cm de profondeur : de 350 m² à 600m²/heure ;
— ameublissement direct aux tambours rotatifs à 10 cm de profondeur : de 400 m² à 700 m²/heure ;
— affinage de labour (boue de repiquage) aux roues dites roues-cages ou de puddling de 800 m² à 2 500 m²/heure.

7. DÉFENSE DES CULTURES

• Classification des appareils

On distingue deux grandes catégories d'appareils suivant la forme sous laquelle le produit est réparti sur les cibles visées :
— les appareils utilisant la voie liquide ;
— et ceux utilisant la voie solide.

Les appareils de la première catégorie comprennent maintenant une vaste gamme de pulvérisateurs et, dans une moindre mesure, des appareils à humecter et injecteurs employés à des usages spécifiques.

LES PULVÉRISATEURS

Ils appliquent une technique de pulvérisation : le produit chimique est réparti sur la cible par **voie liquide** sous forme de gouttelettes plus ou moins fines (alors que les poudreuses et autres épandeurs de granulés et micro-granulés emploient la voie solide, c'est-à-dire des formulations sèches).

Ils se différencient, par conséquent, à la fois :
— des appareils à humecter qui visent seulement à imprégner de liquide par contact les végétaux à détruire mais, dans le cas présent, il n'y a pas formation de gouttelettes ;
— et des injecteurs introduisant dans le sol un pesticide d'abord liquide, appelé fumigant et qui se transforme ultérieurement en vapeur.

D'après le principe de pulvérisation, on distingue des pulvérisateurs :

7.1. Mécaniques

7.1.1. À PRESSION DE LIQUIDE

La division en gouttelettes est obtenue par la mise en pression du liquide au moyen d'une pompe agissant mécaniquement.

a) À jet projeté : les gouttelettes émises sont projetées jusqu'à la plante à traiter et abandonnées à elles-mêmes dès qu'elles ont quitté la buse.

Les matériels à dos équipés de lances et ceux tractés équipés de rampes horizontales pour cultures basses appartiennent généralement à cette catégorie.

b) À jet porté : les gouttelettes émises sont transportées jusqu'à la cible visée par un courant d'air.

7.1.2. CENTRIFUGES

C'est la force centrifuge qui provoque la division du liquide, en agissant à la périphérie d'un organe en rotation plus ou moins rapide qui peut être un disque, un cône, une cage et même une brosse. Les organes tournants sont entraînés par moteur électrique, voie hydraulique ou même les pales d'un moulinet mis en mouvement par le vent dans le cas de traitements aériens.

Dans ce groupe, en pleine évolution, et qui devient de plus en plus complexe, on distingue maintenant :

a) Des appareils centrifuges simples à disque sans ventilateur qui peuvent être :

— de type insecticide : le disque tourne alors entre 5 000 et 14 500 tr/mn suivant les modèles et produit des gouttes fines projetées, mais utilisant la force et la direction du vent (traitement indirect par dérive) ;

— de type herbicide : le disque ne tourne plus qu'entre 1 200 et 2 000 tr/mn selon les marques, et les gouttelettes relativement grosses sont projetées directement vers le sol ;

— ou polyvalents et prévus pour être utilisés, au choix, en traitements insecticides, herbicides ou fongicides.

Parmi les appareils portatifs de type insecticide principalement utilisés en traitements des champs de cotonniers, on peut citer les modèles suivants : C8 (TECNOMA), ULVA 8, ULVA 16, MICRO ULVA (MICRON SPRAYERS), TURBAIR XJ (TURBAIR), VOLPI (VOLPI 8 BOTTOLI).

Ces divers modèles sont maintenant largement représentés dans les zones cotonnières des pays sahéliens et soudaniens où ils se substituent progressivement aux pulvérisateurs à pression de liquide traditionnels.

b) Des appareils centrifuges/électrostatiques à disque sans ventilateur, tels les C8 PLUS (BERTHOUD) mais il semble que cette catégorie soit actuellement délaissée.

c) Des appareils centrifuges à disque entraîné par un moteur pneumatique à l'aide d'un levier actionné par l'opérateur (tels les nouveaux appareils portatifs BIRKY (BIRCHMEIER/CIBA GEIGY). Les matériels comportent la particularité de ne pas consommer d'énergie fossile et existent maintenant tant en version insecticide qu'herbicide.

d) Des appareils centrifuges à cage ou brosse principalement utilisés en aviation agricole (AIRBI, MICRONAIR AU 5000, AU 7000, etc.).

e) Des appareils centrifuges à disque avec ventilateur incorporé (TURBAIR FOX, TURBAIR SCAMP, ULVAFAN...), fréquemment utilisés dans les lieux clos (serres, ...).

7.2. Pneumatiques

La division du liquide est obtenue au niveau d'une tuyère par contact avec un courant d'air à grande vitesse. Sur certains appareils cependant la pulvérisation se produit au niveau de buses pneumatiques type « pistolet de peinture ».

Les pulvérisateurs pneumatiques à dos appartiennent à la catégorie des pulvérisateur pneumatiques (à tuyère) et sont principalement utilisés, en milieu tropical), en traitements insecticides contre les mirides du cacaoyer et les scolytes des baies du caféier et fongicides contre la cercosporiose du bananier.

7.3. Thermiques

La pulvérisation, ou plutôt la nébulisation, est obtenue par introduction du liquide dans un courant d'air gazeux provenant souvent d'une combustion d'essence. Il peut s'agir d'appareils utilisant les gaz d'échappement de petit moteurs ou réacteurs ou de moteurs de tracteurs, le support de la matière active étant, dans la plupart des cas, un hydrocarbure (gas-oil, huile spéciale).

Les pulvérisateurs thermiques à main (SWINGFOG de MOTAN ou PULSFOG de STAHL) sont utilisés en traitements insecticides contre les mirides du cacaoyer.

7.4. Électrodynamiques

La division du liquide en gouttelettes est obtenue au moyen d'un champ électrique intense (15 à 20 000 volts), le même champ assurant le transport (comme en pulvérisation électrostatique).

L'« Electrodyn » appareil à main de ICI (Imperial Chimical Industries) appartient à cette catégorie et peut être utilisé en traitement insecticide (coton) voire fongicide et herbicide.

Les divers matériels peuvent être, selon les cas :

— portatifs à main ou à dos : les appareils de ce type constituent le parc le plus important, car correspondant le mieux aux possibilités d'investissements de beaucoup d'exploitations des pays en développement.

Ils sont le plus souvent, à pression entretenue, c'est-à-dire que la pression est entretenue tout au long du traitement à l'aide d'une pompe manuelle. Ces appareils restent d'une grande polyvalence et leur conception a progressé. Ils peuvent être utilisés à tous usages : traitements herbicides en plantations d'hévéas, fongicides contre la pourriture brune des cabosses du cacaoyer, insecticides contre les parasites du cotonnier, contre les parasites des magasins, des produits stockés et des matériels. Les appareils à pression préalable (dont la mise en pression est effectuée avec le traitement) sont de plus en plus délaissés ;

— de type brouette ;
— tirés par des animaux ;
— portés ou tirés par un tracteur ;
— automoteurs : il s'agit de pulvérisateurs spécialisés pour très grosses exploitations ou entreprises ayant des réservoirs de plus de 3 000 l ;
— installés sur aéronefs ;
— combinés à un autre outil.

TRAITEMENTS TERRESTRES

Produit	Principe de division du produit	Principe de transport du produit	Réalisations	Portée horizontale sans vent
Poudre (ou granulés)		Par courant d'air alternatif	Poudreuses à soufflet à main	1-2 m
			Poudreuses à main	Quelques mètres
		Par courant d'air continu	Poudreuses rotatives (à ventilateur centrifuge) à main	Jusqu'à une dizaine de mètres
			Poudreuses à moteur portées à dos (voir pulvérisateurs pneumatiques à dos)	
			Poudreuses à moteur portées sur brancards, à canon unique	Jusqu'à une vingtaine de mètres
			Poudreuses à moteur auxiliaire ou prise de force, portées sur tracteur, à canon unique	Jusqu'à 50 mètres
			Poudreuses traînées à canon unique (voir pulvérisateurs pneumatiques)	Jusqu'à 100 mètres
			Poudreuses à sorties multiples (à rampe)	
Liquide solution, suspension, ou émulsion	Par pression	Jet projeté	Pulvérisateurs à dos : à pression préalable (à lance)	Quelques mètres
			Pulvérisateurs à pression entretenue (à lance)	Quelques mètres
			Pulvérisateurs à pression entretenue (à rampe)	

Finesse de division (diamètre moyen)	Puissance nécessaire ch	Capacité en produit	Débit	Rendement ha/h ou jour
	Manuelle	Jusqu'à 1 kg		
	Manuelle	Jusqu'à 8 kg		
	Manuelle	0,3 à 8 kg	Jusqu'à 30 kg/h	
	1-3	15 kg		Jusqu'à 4 ha/heure
	4 à 10	30 à 80 kg		
		30 à 80 kg		
120 à 300 microns et plus	Manuelle (pression maximum jusqu'à 12 kg/cm²)	2 à 15 l	0,5 à 2 l/mn (exemple)	0,5 ha/jour (en équipe)
120 à 300 microns et plus	Manuelle (pression moyenne de service 2 à 6 kg/cm²)	10 à 20 l	0,5 à 2 l/mn	0,3 à 0,5 ha/jour
			1,2 à 1,6 l/mn (à faible volume)	2 à 4 ha/jour volume réduit (en équipe)

Produit	Principe de division du produit	Principe de transport du produit	Réalisations	Portée horizontale sans vent
Liquide solution, suspension ou émulsion (suite)	Par pression (suite)	Jet projeté (suite)	Pulvérisateurs portés sur tracteur, à prise de force, à rampe type verger ou type culture basse	Rampe de 7 et 9 m
			Pulvérisateurs traînés, à prise de force ou moteur auxiliaire, à rampe culture basse	Rampe jusqu'à 24 m
		Jet porté	Pulvérisateurs de verger, portés ou traînés, à ventilateur hélicoïde et buses en couronne, à prise de force ou moteur auxiliaire	
			Pulvérisateurs à canon unique, traînés, à ventilateur hélicoïde, à moteur auxiliaire	Jusqu'à plus de 100 m (jusqu'à 150 m en pulv. huileuse)
	Centrifuge	Jet projeté	Pulvérisateur à moteur, type brouette	
		Jet porté	Pulvérisateurs portés à dos, sur brouette, sur brancard, sur tracteur	
	Pneumatique	Jet porté	**Appareil à ventilateur centrifuge :** Pulvérisateurs à dos (à buse unique généralement)	Jusqu'à 10 m environ
			Pulvérisateurs de verger portés sur tracteur, à 1 ou plusieurs buses.	
			Pulvérisateurs à canon unique, à moteur auxiliaire, traînés	Jusqu'à plus de 100 m (jusqu'à 150 m pulv. huileuse)

Finesse de division (diamètre moyen)	Puissance nécessaire ch	Capacité en produit	Débit	Rendement ha/h ou jour
90 à 500 microns	2 - 3	200 - 500 l	15-20 l/ mn (volume réduit)	3-6 ha/h (à volume moyen)
	6 - 10	Jusqu'à 3 000 l	40 à 250 l/mn (volume réduit à fort)	
	10 à 60	200 à 1 500 l	Jusqu'à 100 l/mn	
	12 à 136	Jusqu'à 1 200 l	Jusqu'à 80 l/mn	
	1,5			
70 à 150 microns	2 à 20			Jusqu'à 2,5 ha/h
100 à 250 microns (50 en solution huileuse)	1 à 4	10 - 12 l	1 l/mn	2 à 3 ha/jour
Id	Jusqu'à 40			
Id	Jusqu'à 100	Jusqu'à 2 000 l	Jusqu'à 50 l/mn	Jusqu'à 30 ha/heure

Produit	Principe de division du produit	Principe de transport du produit	Réalisations	Portée horizontale sans vent	Finesse de division (diamètre moyen)	Puissance nécessaire ch	Capacité en produit	Débit	Rendement ha/h ou jour
Liquide, solution, suspension, ou émulsion (suite)	Pneumatique (suite)	Jet porté (suite)	Appareils à compresseur p.m. (réalisations diverses)		Plus fine que ci-dessus				
	Thermique (pneumatique)	Jet porté	Appareils à moteur auxiliaire, portés sur remorque, etc...	Brouillard dérivant	5 à 100 microns	3 - 4			
	Thermique (vibrations)	Jet porté	Appareil porté à main	Brouillard dérivant	5 à 80 microns		4,5 l	Jusqu'à 0,5 l/mn	

TYPES D'AVIONS UTILISES ET PRIX MOYEN DE LOCATION HORAIRE

TYPES D'AVION	CHARGE MOYENNE en litre	VITESSE DE TRAVAIL en km/h	LARGEUR DE TRAVAIL en m	PRIX MOYEN location (1973) F CFA/h	APTITUDES particulières
Piper	275	130	de 20 à 50 m suivant volume appliqué à l'ha	30 000	Traitements antiacridiens
Pawnee ...	450	150		45 000	
Cesna	600	160		50 000	
Grumman .	750	140		55 000	
Thrush	1200	170		65 000	
L'altitude de traitement varie suivant la nature des cultures traitées					

En fonction du contrat, de la durée, de la nature et de l'importance des surfaces traitées, les prix donnés ci-dessus sont susceptibles de variations assez importantes en plus ou en moins.

— **Remarques concernant divers traitements :**

● On appelle « **traitement classique** » ou « traditionnel » par pulvérisation, un traitement qui fait appel à des quantités de l'ordre de 500 à 3 000 litres à l'ha de solution aqueuse, mais la tendance actuelle est à la réduction du volume par ha.

● Suivant les pays, les traitements « **à volume réduit** » (faits avec des appareils « à débit réduit ») correspondent à moins de 100 l/ha. On descend en pays tropicaux jusqu'à 40 l/ha avec des pulvérisateurs à dos à pression (solutions aqueuses), jusqu'à 11 l/ha avec des appareils centrifuges portés par aéronef (solutions huileuses).

● **Les traitements à très bas volume/ha** (UBV ou ULV — Ultra Low Volume) de plus en plus fréquents, surtout en zone sahélienne sont, en général réalisés avec des pulvérisateurs centrifuges portatifs. Ces pulvérisateurs existent en 2 versions : insecticide-fongicide (0,5 à 5 l/ha) et herbicide (10 à 15 l/ha) (fig. ci-dessous).

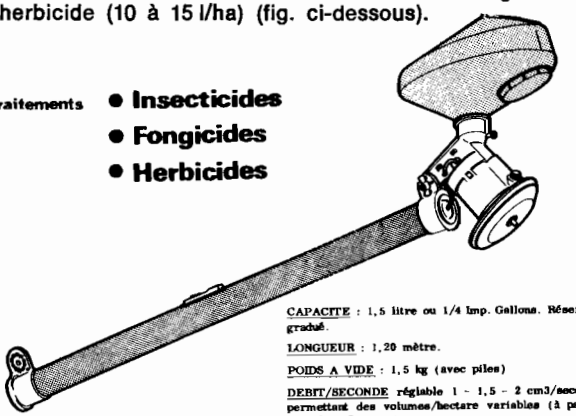
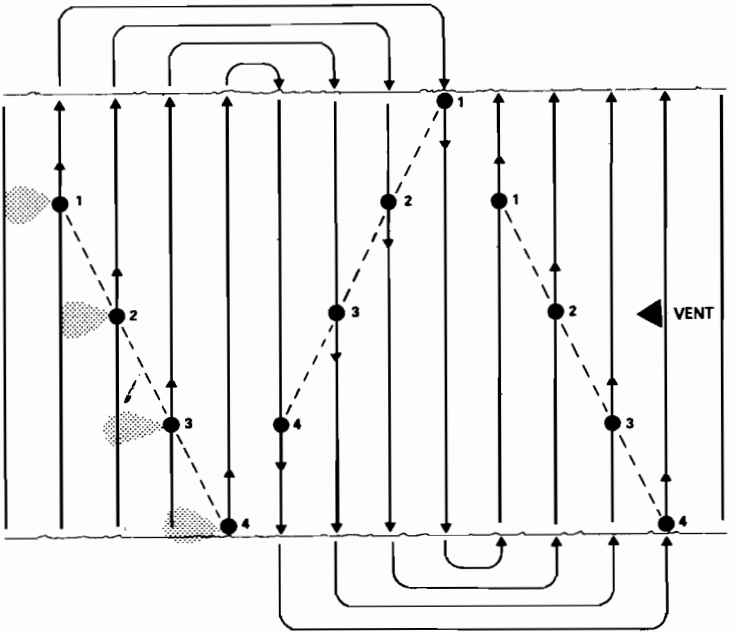


Figure 1

PULVÉRISATEUR PORTABLE POLYVALENT

Ils sont constitués d'une tête de pulvérisation avec disque entraîné par un petit moteur électrique (6 à 8 Watts) alimenté par 8 piles de 1,5 V contenues dans le manche.

La version insecticide-fongicide possède un réservoir de produit de 1 l, et le disque tourne à 7 000-10 000 t/mn, créant des gouttes très fines (70 à 100 μ) qui sont transportées par le vent vers la plante (cotonnier, riz, maïs...). L'appareil est tenu à 50 cm environ au-dessus du sommet de la végétation, et la largeur de travail varie de 3 à 5 m (selon le vent et la hauteur de la végétation). On ne doit traiter que lorsque le vent fait un angle de plus de 25° avec la direction d'avancement, et si sa vitesse est comprise entre 4 et 15 km/h (fig. ci-dessous).



MANIÈRE DE TRAITER EN INSECTICIDE

La version herbicide a un réservoir de 3 à 5 l, le disque tournant à 1 500-2 000 t/mn (gouttes de 200 à 300 μ), ce dernier étant placé, à 25-30 cm au-dessus du sol (pré-levée) ; la largeur de travail ne dépasse pas 1 m.

Enfin, il existe des associations de 3 disques sur rampes portatives (2 à 3 m de largeur de travail), jusqu'à 15 disques sur rampes pour

cultures basses (pour tracteurs, largeur de travail 6 à 10 m) et des turbines pour traitements indirects avec 1 disque (sur tracteur simplifié ou tracteur enjambeur pour cotonnier, largeur de travail : 20 m environ).

TRAITEMENT	TYPE D'APPAREIL	RENDEMENT PRATIQUE (ha/h)
Insecticide-fongicide	Portatif	0,75 à 1
	Tracteur, turbine	6
	Tracteur, rampe 10 m	4
Herbicide	Portatif 1 tête 3 têtes Tracteur, rampe 10 m	0,2 à 0,3 0,6 4

- **Les traitements aériens**

Poudres et granulés	par Venturi		avion surtout
Produits liquides			
Pulvérisation par pression	rampes de buses	pompe fonctionnant sur moulinet pneumatique ou entraînée par moteur électrique	avion ou hélicoptère
Pulvérisation centrifuge	buses isolées rampes de buses	entraînées par moulinet individuel	avion ou hélicoptère
Pulvérisation pneumatique		par compresseur par dérivation sur appareil à réaction	hélicoptère seulement
Pulvérisation thermique		sur échappement du moteur	hélicoptère ou avion

VI

APPAREILS DE PRÉPARATION ET DE PREMIÈRE TRANSFORMATION DES PRODUITS

1. TRAITEMENT DES CÉRÉALES

1.1. Riz — Petit usinage

Deux types de matériels sont utilisés :

Le décortiqueur-blanchisseur à cylindre métallique du type Engelberg, utilisé soit pour l'usinage complet, soit pour le blanchissage seul (le débit est alors doublé) :
- débit en Paddy : 380-450 kg/h ;
- puissance requise : 15 ch.

Son grand avantage est sa robustesse, ses inconvénients sont un faible rendement global en riz blanc et un taux élevé de brisures.

Le décortiqueur à rouleaux (caoutchouc ou synthétiques) et blanchisseur par friction (pneumatique) ou par abrasion (meules) :
- débit en Paddy : 500 à 900 kg/h ;
- puissance requise : 14 à 18 ch.

A l'inverse du précédent, ce type de matériel permet d'obtenir un bon rendement global et un faible taux de brisures permettant une meilleure valorisation commerciale.

Son point faible est l'usure des rouleaux, en général importés, à laquelle il peut être remédié en créant une unité locale de fabrication.

1.2. Autres céréales (Mil, Sorgho, Maïs), Battage — Décorticage Mouture

Battage

— Céréales à pailles : nombreuses batteuses polyvalentes dans une gamme de débits de 200 à 1 000 kg/h.
— Mil : batteuse motorisée, débit 300 à 500 kg/h. Puissance 9 ch.
— Maïs : effeuilleuse motorisée, débit 2 à 3 t d'épis/h. Puissance 7 ch.
- Egrenoirs à main, nombreux modèles.
- Egrenoirs motorisés, débit 1 500 kg/h. Puissance 9 ch.

Décorticage

Les décortiqueurs à sec sont encore très peu diffusés.
Deux modèles sont actuellement en cours d'introduction :
— 1 décortiqueur en continu à meules abrasives débitant 100 à 150 kg/h, avec une puissance installée de 10 ch et un rendement de décorticage de 70 à 80 %.
— 1 décortiqueur discontinu à meules abrasives pouvant traiter des charges de 5 à 8 kg en 7 minutes. La puissance installée est de 3 ch.

Mouture

Les moulins à meules et surtout à marteaux sont largement diffusés en zones urbaines. On estime qu'un moulin classique peut satisfaire les besoins d'une communauté de 800 à 1 000 personnes.

Débit : 200 à 300 kg/h.

Puissance : 10 à 12 ch (si possible moteur électrique plus robuste et meilleur marché que les moteurs thermiques).

Les moulins à meules métalliques sont les mieux adaptés à la mouture des grains décortiqués par la voie humide traditionnelle, mais produisent une mouture relativement grossière.

Les moulins à meules métalliques horizontales permettent une mouture plus fine. Les moulins à marteaux sont des broyeurs dont la finesse de mouture et le débit sont fonction de la dimension des perforations de la grille employée.

La mécanisation de la mouture en zone rurale n'a pas encore reçu de solution économiquement satisfaisante.

2. TRAITEMENT DES OLÉAGINEUX

Exemple : groupe semi-mécanique de traitement des fruits de palmier, comportant un égrappeur, un stérilisateur, une presse à vis horizontale (version manuelle ou motorisée, 2 ch), un clarificateur.

Capacité :
version manuelle : 100 kg/h de fruits,
version motorisée : 250 kg/h de fruits.

— **Egrappeur pour fruits de palme :**
Puissance 6 ch, rendement moyen — 3 à 4 000 kg/h (régime)

— **Concasseur à noix de palmiste :**
Puissance 3 ch, rendement moyen — 700 à 1 000 kg/h (noix)

— **Décortiqueuse à arachides :**
A main, de 60 à 150 kg/h d'arachides en coques, suivant les modèles.

— **Broyeur à arachides**
Moulin à meules de corindon — moteur 4 ch débit 200 kg/h.

3. TRAITEMENT DU CAFÉ

— **Décortiqueur déparcheur à café :**

	Puissance	Rt cerises sèches	Rt café parche
A main :	—	—	30-40 kg/h
A moteur :	2 ch	50-60 kg/h	70-90 kg/h
	3-5 ch	100-110 kg/h	150-160 kg/h
	8-10 ch	200-300 kg/h	350-400 kg/h

(Exemples valables pour arabica; rendement supérieur de 25 % pour robusta).

— **Dépulpeur à café**

• A disque :	Puissance	Nb Ø	Diamètre Ø	Rendement cerises fraîches
— à main	—	1	45	350 kg/h
— à moteur ...	1 ch	1	45	800 kg/h
	2 ch	3	45	2 500 kg/h
• A tambour :		Diamètre	Longueur	
— à moteur ...	1 ch	38 cm	30 cm	800 kg/h
	2 ch	38 cm	60 cm	1 800 kg/h
• Système Raoeng				
— à moteur ...	8 ch			750 kg/h
	25 ch			3 000 kg/h

— **Séchoir à café**

• à toit mobile, à énergie solaire.

Capacité : 400 à 600 kg/3 semaines, pour 15 à 30 m² de claies.

4. TRAITEMENT DU MANIOC

— **Eplucheuse**
On obtient des cubes d'environ 2 cm × 2 cm.
Puissance 3 ch, rendement moyen en racines fraîches 800 kg/h.
Pertes (bouts + peaux + procédé) 25 %.
Peut être couplée avec un broyeur — Puissance nécessaire 10 ch.

— **Rape à tambour,** moteur 5 à 8 ch. Rendement : 800 à 1 000 kg/h.

— **Presse à pulpe de manioc :**
• manuelle : à plateau (= 100 kg/heure),
• mécanisée : à bande. Moteur 0,25 ch ; 400 à 600 kg/h.

— **Emietteur-défibreur**
Moteur 5 ch. Rendement 400 à 600 kg/h.

5. TRIAGE CALIBRAGE

— **Tarare (à café)**
Puissance 1 ch, rendement moyen 800 kg/h.

— **Catador (à café)**
Puissance 4-5 ch, rendement 600-800 kg/h.

— **Trieur à tambour (café)**
Puissance 1 ch, longueur 2,60 m, rendement moyen 750 kg/h.

— **Crible rotatif (à arachides)**
Entraînement manuel, rendement ..... 1 000-2 000 kg/h

— **Tarare calibreur (à arachides)**
Puissance 2 ch, rendement ..... 2 500 à 3 000 kg/h

— **Séparateur-nettoyeur (à paddy)**
Puissance 1,3 ch, rendement moyen 500 kg/h.
3,0 ch, rendement moyen 1 000 kg/h.
4,0 ch, rendement moyen 2 100 kg/h.

VII

BIOMASSE ÉNERGIE

1. SOURCE DE LA BIOMASSE

La biomasse résulte de l'accumulation de la matière par le phénomène de la photosynthèse qui réalise au niveau des parties vertes du végétal, la conversion de l'énergie lumineuse (solaire) reçue en énergie chimique selon la formule générale suivante :

CO_2	$+H_20$	lumière	CH_20	$+ 0_2$
Gaz carbonique	+ Eau	Photons	Hydrate de Carbone	+ Oxygène

Elle est de ce fait indéfiniment **renouvelable** et mobilisable comme **énergie de substitution** des énergies fossiles (pétrole et charbon minéral) généralement absents dans les pays tropicaux en développement.

2. POTENTIEL DE LA BIOMASSE — ÉNERGIE MOBILISABLE

Sur 8,6 milliards d'hectares d'espaces verts du globe, 75 milliards de tonnes de matières vertes sont élaborées par an. Cela correspond à 16,5 millards de tonnes de matière sèche, soit environ 2 t/ha de matière sèche (chiffres dérisoires qui peuvent être considérés comme un minimum en tout état de cause). La moyenne de fait est de 7 à 8 t/ha de matière sèche. L'homme mobilise 8,6 milliards de tonnes de matière sèche pour sa nourriture, celle des animaux et pour son habillement.

Il reste donc 7,9 milliards de tonnes à répartir dans des proportions encore mal définies, aux usages suivants :

a) le mobilier, le logement et surtout le *chauffage* ;

b) la fraction annuellement détruite par les agents naturels (feux de brousse, déchets biologiques humifiés, mais non enterrés et entraînés en pure perte par ruissellement...) ;

c) la fraction retenue par les végétaux sur pieds et protégés par l'intérêt écologique.

La « biomasse-énergie » se situe en *a)* et *b)* ci-dessus.

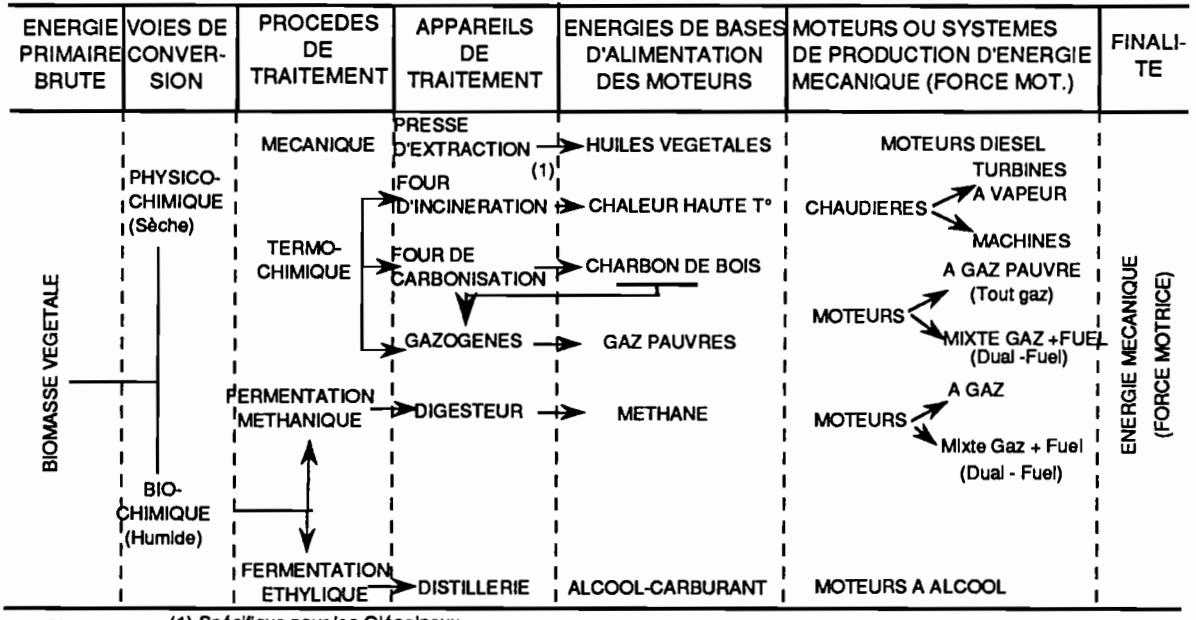
3. CONVERSION DE LA BIOMASSE VÉGÉTALE EN ÉNERGIE MÉCANIQUE

Cf. tableau suivant.

4. FILIÈRES ÉCONOMIQUEMENT APPLICABLES POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'AGRICULTURE

Au niveau actuel de la technologie, les filières suivantes ont fait l'objet des essais d'application dans des sites d'exploitations réelles pour la démonstration de la fiabilité technico-économique. Ce sont :

QUELQUES FILIERES COURANTES DE CONVERSION DE LA BIOMASSE VEGETALES EN ENERGIE MECANIQUE(2)



NOTA: (1) Spécifique pour les Oléagineux

(2) Ces filiéres sont pour la plupart en cours d'application et certaines sont au stade de prédéveloppement

1) La gazéification de la biomasse brute, pour l'alimentation des moteurs, selon deux procédés de carburation et d'allumage :

- carburation air + gaz et allumage par étincelles électriques ;
- carburation air + fuel + gaz et allumage principe Diesel.

2) La gazéification de la biomasse préalablement carbonisée pour l'alimentation des moteurs selon le procédé de carbonisation air + gaz et allumage par étincelles électriques.

3) L'utilisation de l'huile végétale dans les moteurs Diesel.

4) L'utilisation de l'alcool carburant dans les moteurs à alcool.

4.1. Gazéification de la biomasse brute

4.1.1. APPAREILS DE GAZÉIFICATION

Il existe deux types de gazogènes :

— Les gazogènes embarqués sur véhicules ou embarcation. Généralement de puissance entre 20 et 40 kW.

— Les gazogènes fixes accouplés à des groupes électrogènes ou autres moteurs pour la production de la force motrice.

Selon la nature du ou des combustibles utilisés, les gazogènes sont du type spécifique pour la gazéification du bois ou du type polycombustible avec les paramètres du foyer réglables.

4.1.1.1. Principe de fonctionnement

Le combustible, sous l'action de la chaleur du foyer, se soumet aux fonctions successives de l'appareil, citées dans l'ordre suivant :

— **Le séchage :** la perte en eau sous forme de vapeur à évacuer hors de l'appareil après sa condensation.

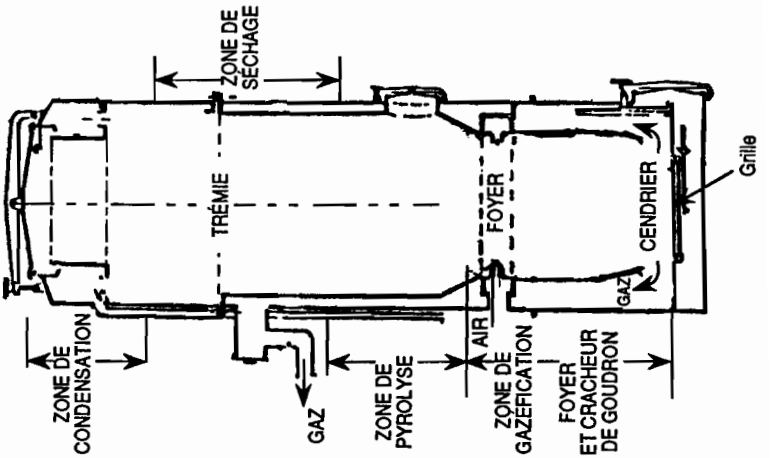
— **La pyrolyse ou carbonisation :** le dégagement des produits pyroligneux sous forme de gaz dont l'excès est à évacuer hors de l'appareil après sa condensation comme la vapeur d'eau. Une partie de ces gaz pyroligneux traverse le foyer pour se transformer en carbures d'hydrogène après s'être débarrassé du goudron dont ils sont chargés.

— **L'oxydation** du charbon de bois provenant de la pyrolyse. La dose d'oxygène étant contrôlée, l'oxydation est incomplète et il en résulte la formation de deux types de gaz en mélange. Le CO_2 et le CO (gaz carbonique et oxyde de carbone).

— **La réduction :** le gaz carbonique CO_2 et l'oxyde de carbone CO traversent ensemble la masse de charbon de bois incandescent du foyer. Le CO_2 y subit la réduction de Boudouard, $CO_2 + C$ en prenant du carbone pour devenir 2CO.

— **Le cracking du goudron :** le goudron qui accompagne les gaz de pyrolyse se détruit au passage à travers le foyer à haute température et ses composants se rétablissent sous forme d'autres gaz combustibles (C_2H_2, C_2H_4, etc.) pour enrichir le produit gazeux final.

Schéma du fonctionnement du gazogène à bois.



4.1.1.2. Composition et pouvoir calorifique moyen des gaz obtenus à partir de la biomasse à 18 % d'humidité

Eléments	*% Volume*
H_2	15 à 16
CH_4	1,9 à 2,1
O_2/AIR	0,8 à 2,6
N_2	46 à 50
CO_2	9,8 à 10,5
CO	20 à 23
C_2H_4	0,3 à 0,4
C_2H_6	Très faible
C_2H_2	Très faible
Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) en kCal/m³ sur gaz sec (calculé).	1.223 à 1.363

4.1.1.3. Puissance thermique du gazogène

Elle est exprimée en thermies/heure.

Elle est déterminée par :

PCI × Débit horaire en m³ gaz.

4.1.1.4. Rendement du gazogène

Il est exprimé en %. Il est déterminé par le rapport :

$$\frac{\text{Puissance thermique (convertie en kCal)}}{\text{PCI combustible (en KCal/kg)} \times \text{Poids consommé par heure (en kg)}} = R$$

1 thermie = 1 000 kCal

PCI du bois sec absolu = 4 500 kCal/kg.

4.1.1.5. Détermination du PCI de la biomasse à un taux d'humidité = H

$$\text{PCI sec} \times \left(1 - \frac{H}{100}\right) - \left(600 \times \frac{H}{100}\right) = \text{PCI Humide.}$$

PCI sec : entre 4 000 et 4 500 selon la nature
600 = énergie (en kCal) nécessaire pour évaporer 1 kg d'eau.

4.1.2. CHAÎNE DE TRAITEMENT DES GAZ

Le but est de produire au bout de la chaîne un gaz propre et refroidi à la température de l'ambiance et avec le minimum de dépression possible.

Elle se compose de plusieurs éléments, dont les rôles sont les suivants :

- refroidir les gaz,
- séparer et retenir les poussières, impuretés solides,
- séparer et retenir les impuretés encrassantes,
- séparer et retenir les produits considérés comme humidité (eau et autres produits pyroligneux condensables).

4.1.2.1. Appareils refroidisseurs

Ils sont de plusieurs types :

— les tubes à ailettes échangeuses de température,
— les tubes à chicanes échangeurs de température,
— les récipients de barbotage de gaz dans l'eau,
— les laveurs refroidisseurs à douches,
— les laveurs refroidisseurs à ballons flottants.

La température des gaz à l'entrée des appareils résistants à la chaleur = 200 à 250 °C.

La température des gaz à l'entrée des appareils sensibles à la chaleur < 100 °C surtout avec les appareils fonctionnant avec de l'eau comme agent actif.

La température des gaz à la sortie des appareils refroidsseurs < 50 °C.

4.1.2.2. Appareils de filtration de poussières solides

Trois types d'appareils selon le principe de fonctionnement :

— filtres à choc dans matière filtrante à différentes porosités ;
— filtres centrifuges cyclones ou centrifugeurs ;
— filtres électrostatiques.

La température du gaz baisse également au cours de la filtration.

Les gaz perdent, en principe au cours de la filtration, les éléments solides et les éléments encrassants.

4.1.2.3. Appareils séparateurs d'humidité

Fonctionnant sur le principe des condenseurs, les gaz, admis au sein de l'appareil en entrée tangentielle à la partie inférieure, regagnent la sortie aménagée à la partie supérieure en perdant leur vitesse au cours de l'ascension.

L'expansion dans l'enceinte de l'appareil accélère la condensation des éléments gazeux condensables (eau et autres produits pyroligneux). Les gaz secs flottent et rejoignent la sortie.

A la sortie de ces appareils, les gaz sont en principe déjà refroidis à la température proche de celle de l'ambiance.

A ce niveau, la température est à + 4 à 50 par rapport à celle de l'ambiance et la dépression est aux environ de 500 à 800 mm de colonne d'eau.

4.2. Utilisation des gaz de gazogène

Les gaz de gazogène sont dits gaz-pauvre parce que leur PCI se situe entre 1 200 et 1 350 kCal/m³. On les utilise pour l'alimentation des moteurs et des brûleurs à gaz pour différents buts d'application.

4.2.1. ALIMENTATION DES MOTEURS

L'alimentation des moteurs en gaz pauvre s'effectue de deux façons :

- alimentation à 100 % en gaz,
- alimentation en dual-fuel (gaz + fuel).

4.2.1.1. Alimentation à 100 % en gaz

Elle est encore dite alimentation en « tout-gaz ». Carburation du mélange AIR + GAZ dans les proportions 0,5 et 0,5, selon le PCI du gaz. Le moteur doit être celui à allumage par étincelles électriques dont le taux de compression est diminué et l'avance à allumage est augmentée (selon les essais). Il y a lieu de prévoir une perte de 0,4 à 0,5 de puissance après adaptation au gaz pauvre.

4.2.1.2. Alimentation en dual-fuel (bi-carburant)

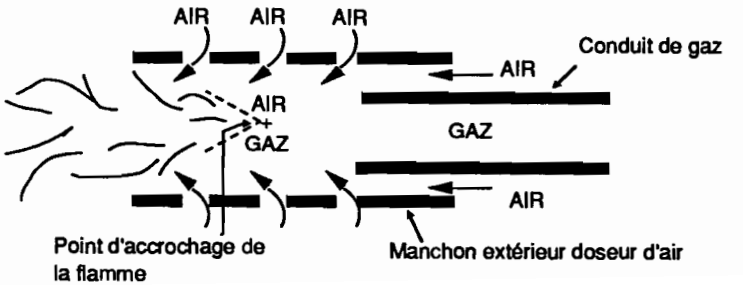
Carburation du mélange AIR + FUEL + GAZ. Le pilotage de l'allumage du type Diesel est assuré par environ 20 à 40 % en fuel et le complément de carburant est assuré par le gaz pauvre.

L'adaptation au dual-fuel entraîne une perte d'environ 20 à 25 % de puissance du moteur.

Le taux de substitution du fuel par du gaz pauvre varie entre 25 et 40 % selon le régime du moteur.

4.2.2. ALIMENTATION DES BRÛLEURS A GAZ

Le brûleur à gaz fonctionne selon le schéma suivant :



La flamme s'accroche au niveau où le taux de mélange Gaz + Oxygène de l'air devient inflammable.

4.3. Application des gazogènes

4.3.1. PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

- Pour les besoins ménagers ;
- pour l'adduction d'eau (domestiques, arrosage et irrigation des grandes cultures) ;
- pour les traitements des récoltes ;
- pour les industries agro-alimentaires ;
- pour les exploitations et industries du bois.

4.3.2. PRODUCTION DE LA FORCE MOTRICE

- Pour la propulsion des véhicules de transport terrestre ;
- pour la propulsion des grandes embarcations de transport fluvial.

4.3.3. PRODUCTION DE LA CHALEUR

- Pour le chauffage des séchoirs ;
- autres formes d'applications rurales.

4.4. Rendement dans divers types d'application

Le rendement du gazogène est de 0,75 à 0,80.
Le rendement des moteurs alimentés en gaz pauvre est de 0,25.
Le rendement des alternateurs électriques est de 0,9.
D'où le rendement de la chaîne :
— Production de force motrice = 0,8 × 0,25 = 0,2.
— Production de l'électricité = 0,8 × 0,25 × 0,9 = 0,18.
On admet en moyenne :
1,5 kg de bois à 18 % $H_2$0/kWh électrique.

4.5. Gazéification de la biomasse préalablement carbonisée

Cette filière a des avantages du point de vue technique, parce que le charbon de bois est en principe débarrassé de toutes les impuretés. La filtration est plus facile. Mais on perd environ 50 % de l'énergie initiale de la biomasse au cours de la carbonisation.

D'un point de vue économique, son application rencontre beaucoup d'obstacles :

— Le charbon de bois coûte trop cher comparativement au pétrole.
— Le charbon de bois a un usage concurrentiel dans les besoins ménagers.
— Dans le cadre de l'économie de l'énergie, cette filière est difficilement applicable si l'on n'arrive pas à trouver un moyen de valoriser les gaz de pyrolyse de façon permanente au cours de la fabrication du charbon de bois. Ces conditions sont difficilement réunies, surtout dans l'infrastructure rurale des pays non industrialisés.

Le rendement de ce type de gazogène accouplé à un groupe électrogène approche **0,45 kg** par kWh électrique.

Les autres formes d'applications ne semblent pas être justifiables économiquement.

CHAPITRE XII

CONSTRUCTION

I

PRINCIPES DE CONSTRUCTION

Toute construction exige les démarches successives suivantes :
— L'étude du terrain d'implantation;
— Le choix des matériaux à mettre en œuvre;
— Le choix des méthodes de construction à utiliser.

II

CONNAISSANCE DU TERRAIN

Elle est nécessaire pour l'exécution des opérations préliminaires à la construction proprement dite : implantation, terrassement, choix du type de fondation.

1. IMPLANTATION

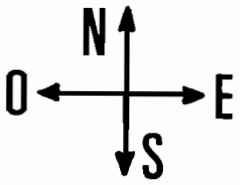
L'emplacement est choisi en fonction de :
— la position fonctionnelle de l'ouvrage dans un ensemble de constructions (plan de masse);
— la situation topographique (risques d'inondation, accès);
— la forme du terrain (nivellement, terrassement);
— la nature du terrain en sous-sol (stabilité, fondations).

Dans le cas des bâtiments, l'implantation doit tenir compte également de l'orientation des façades en fonction des conditions climatiques : insolation, vents dominants, tornades.

● **Insolation.**

Heures des plus fortes insolations : de 10 heures à 17 heures. Les façades E et O recevront la plus forte insolation, réduire ces façades au minimum. Orientation à conseiller pour un bâtiment rectangulaire (façade principale exposée au nord pour l'hémisphère Nord).





● **Vents.**

Profiter des vents favorables pour ventiler pendant les heures chaudes. Orienter le bâtiment perpendiculairement au sens des vents dominants. Effectuer une protection contre le vent défavorable (vent d'orage).

L'opération proprement dite d'implantation consiste à matérialiser sur le terrain les alignements principaux de l'ouvrage par disposition de piquets ou de chaises (chevalets de bois) sur lesquels sont plantés des clous servant de repères. Le repérage des alignements est complété par un repérage du nivellement (définition du niveau zéro de l'ouvrage).

2. TERRASSEMENTS

Ce sont les mouvements de terre effectués soit pour un remodelage du terrain (remblais, déblais, talutages, plate-forme), soit pour l'exécution des fouilles nécessaires aux fondations; leur importance dépend donc du terrain, de l'implantation choisie et du mode de fondation retenu; leur exécution est fonction de la nature du sol (voir chap. XI, s. chap. V, Travaux de culture mécanique).

3. FONDATIONS

L'établissement des fondations d'un ouvrage nécessite la connaissance du terrain en sous-sol. Celle-ci peut se faire par puits de reconnaissance ou par sondages qui permettent de déterminer :

a) La profondeur de l'assise à retenir pour les fondations, conditionnée par l'atteinte du « bon sol ». Est dit « bon sol » un sol homogène et ferme, sinon dur. Un sol rocheux est en général un bon sol de fondation.

b) Les pressions admissibles en sous-sol. En fait, le « bon sol » sera celui pouvant admettre des pressions supérieures ou égales

à celles correspondant au poids de la construction transmis au sol par les fondations (voir p. 306) et présentant une résistance à la pression supérieure à 1,5 kg/cm².

TAUX DE TRAVAIL DES SOLS TYPES
(charge de sécurité admise)

Rocs	Résistances variables et en général considérables
Argile compacte bien sèche	8 kg/cm²
Sable humide mêlé de cailloux	6 à 10 kg/cm²
Cailloux, graviers	4 à 6 kg/cm²
Sable fin humide	5 kg/cm²
Argile compacte humide	3 kg/cm²
Sable argileux et aquifère	2 kg/cm²
Graviers terreux	2 à 5 kg/cm²
Terre vierge non humide	2 kg/cm²
Terre végétale rapportée, qui a été tassée et pilonnée	1 kg/cm²
Vase et argile molle	max. 0,5 kg/cm²

Résistance du sol à la pression.

Si l'on veut obtenir un calcul précis il faut faire des essais en laboratoire.

Il existe toutefois des appareils simples tels que les pénétromètres.

III

MATERIAUX

Terminologie	Diamètre
Moellons	$\leqslant$ 10 cm
Cailloux	entre 3 et 10 cm
Gravillons	entre 6 et 25 mm
Sable	entre 0,1 et 5 mm
Fillers	$<$ 0,1 mm

1. LES PIERRES

Les pierres les plus couramment utilisées sont le granit, la latérite et le quartzite.

1.1. Choix et préparation des pierres.

Qualité.

On aura recours à des matériaux durs, non poreux, non friables La coupe de la pierre doit être nette; lorsqu'elle est fendue à la masse elle doit se casser en morceaux sans s'effriter. Toutefois la latérite bien que friable est très utilisée.

Extraction.

A la barre à mine ou aux explosifs. Les blocs sont refendus à la masse. Il est préférable de tailler les pierres sur place, le transport est plus aisé.

Stockage.

Les pierres ainsi obtenues sont mises en tas, sur une aire propre, dépourvue de sable, de terre ou de matières végétales.

1.2. Utilisation.

- **Maçonnerie.**

Soubassements, murs porteurs, murs de soutènement.

- **Fondations.**

Support de chape en béton sur remblai.

1.3. Caractéristiques.

	Densité apparente kg/m³	Rupture à la compression kg/cm²
Granite	2 400 à 3 000	650 à 2 000
Latérite (assimilée à un grès dur)	1 900 à 2 600	200 à 2 000
Quartzites	2 200 à 2 800	2 300 à 3 000

Poids au mètre cube de maçonnerie de pierre : 2 000 à 2 600 kg.

2. LES SABLES

Un bon sable est formé de grains présentant des aspérités (bon accrochage du ciment) et exempt d'impuretés (organiques ou sels). Pour cela il doit être tamisé et éventuellement lavé. Le sable marin est à éviter.

3. LES LIANTS HYDRAULIQUES

Ce sont d'une manière générale les ciments (silicate double d'aluminium et de calcium) et les chaux (oxyde de calcium) hydrauliques qui, mélangés avec de l'eau en proportion convenable, forment une pâte plastique qui se solidifie au bout d'un certain temps et durcit.

3.1. Ciments.

Le ciment est le produit de la cuisson de calcaires marneux et argileux.

Les ciments sont caractérisés par leur rapidité de prise et surtout par la résistance à la compression en bar (1 bar = 1,02 kg/cm²) à 7 et 28 jours.

On distingue :

- Les ciments à prise rapide utilisés pour des travaux au contact de l'eau. Ces ciments sont moins résistants que les autres et acquièrent une résistance de l'ordre de 80 bars à 28 jours. Ce sont des ciments naturels.
- Les ciments artificiels à prise lente. Les plus courants sont les ciments Portland que l'on peut diviser en :
  - Ciments ordinaires 160/250 désignés par CPA 250
  - Ciments à haute résistance 210/325 désignés par CPA 325
  - Ciments à haute résistance initiale 315/400 désignés par CPA 400
  - Superciments 355/500 désignés par CPA 500

La spécification du produit est indiquée sur les sacs.

Un ciment 210/325 a une résistance à la compression de 210 bars après 7 jours et de 325 bars après 28 jours.

Les ciments les plus couramment utilisés sont les ciments CPA 250 pour le béton ordinaire et la maçonnerie et le CPA 325 pour le béton armé.

Stockage du ciment.

Le ciment doit être conservé dans un endroit sec; il est bon de prévoir un magasin très hermétique dont le plancher sera surélevé de façon à laisser un espace libre largement aéré.
A l'humidité les ciments s'altèrent, et il se forme des grumeaux.

3.2. Chaux.

La chaux vive est produite par calcination des pierres calcaires; additionnée d'eau elle foisonne et donne la chaux éteinte qui est souvent employée comme liant pour les mortiers et bétons de terre.
On peut ajouter de l'argile à la chaux, ou à un mélange chaux-ciment ou chaux et produits pouzzolaniques. La chaux se combine assez bien avec l'argile.

Dosage courant pour 1 m³ de béton de terre :

— 80 kg de ciment; ou
— 100 kg de chaux grasse.

L'intérêt économique du béton de terre disparaît si on utilise un trop grand pourcentage de liant.

4. LES MORTIERS (liant + sable et eau)

Un mortier est un mélange de liant, de sable et d'eau réalisé de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre.

Il sert à lier les différents éléments constituant toute maçonnerie. Dans un mortier, le liant peut être du ciment, de la chaux ou un mélange des deux.

Le dosage d'un mortier « en liant » est fonction du but à atteindre et de la nature du liant.

DOSAGE DES MORTIERS AU CIMENT

Usage	Poids du ciment kg/m³ de sable
Agglomérés vibrés, semelle de propreté	200
Pour hourdis maçonnerie, enduits intérieurs.	250
Pour hourdis maçonnerie en fondations, claustra	300
Résilles ou claustra légers.....	350
Chapes, enduits lisses, appuis	400
Mortiers pour carrelage	400
Chapes pour locaux publics	500
Enduits étanches, regards, scellements	600

Le dosage en eau d'un mortier est fonction de la nature du liant et de celle du sable utilisé. Pour un sable de rivière, au dosage de 400 kg de ciment Portland par mètre cube de sable, il faut environ 200 litres d'eau. Il est également fonction de l'humidité préalable du sable.

D'une façon générale, on fixe la quantité d'eau de manière à obtenir un mortier de consistance plastique. Un bon mortier doit être mou, d'aspect lisse, luisant et légèrement huileux.

Les mortiers de chaux sont généralement dosés à 300 kg ou 350 kg par mètre cube de sable.

Dans le cas d'utilisation de chaux et de ciment dans un même mortier (mortier bâtard), le mélange des deux liants doit être bien homogène. Les proportions respectives de chaux et de ciment peuvent varier largement.

Eau de gâchage.

Elle doit être pure; une eau souillée ou contenant des matières chimiques nuit à la solidité et empêche même le ciment de prendre. La quantité d'eau de gâchage est très importante; si on en met trop ou pas assez le ciment n'aura pas la résistance normale.

Agressivité des eaux.

Il faut éviter les eaux de gâchage qui contiennent une forte proportion de sels (sulfates, chlorures) ou d'acides humiques.

5. LE BETON (liant + sable + gravier + eau)

5.1. Le béton de ciment.

Dosage des bétons en fonction des matériaux disponibles et de leur utilisation : béton armé, béton banché, agglomérés :

DOSAGE DES BETONS POUR 1 METRE CUBE

Usage	Ciment kg	Sable l	Gravillon l	Gravier l	Pierre cassée l	Casson de brique l	Eau l
Semelle de propreté	150	400				800	220
Formes	200	400			800		180
Semelle de fondation	250	400		200	600		170
Béton banché ..	300	400	850				170
Béton armé ...	350	400	350	450			165
Béton moulé ..	350	450	800				215
Ouvrages spéciaux	400	400	350	450			170

Fabrication : à la main, à la bétonnière.

Eau de gâchage.

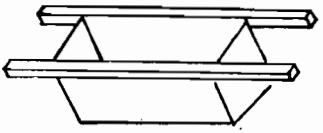
Un prélèvement de béton d'une bonne composition doit garder sa forme quand on le presse entre les deux mains et rester humide en surface sans perte d'eau.

Mise en œuvre.

Mélanger sable et ciment jusqu'à ce que le mélange ait pris une teinte uniforme. Ajouter ensuite le gravier nécessaire et mélanger de nouveau jusqu'à obtention d'un mélange homogène. L'eau ne doit être ajoutée que progressivement.

Dosage des matériaux.

Pour faciliter et contrôler le dosage des matériaux, il est pratique d'utiliser des caisses sans fond ni couvercle munies de deux paires de brancards comme indiqué sur la figure ci-après.



Pour 100 l de matériaux par exemple, les dimensions seront les suivantes :

Longueur	60 cm
Largeur	60 cm
Hauteur	28 cm

5.2. Le béton de ciment armé (ciment + sable + graviers + fers).

Le béton armé est constitué de béton ordinaire dans lequel est enrobée une armature en acier.

TABLE DES RONDS LISSES
EN ACIER DOUX (limite d'élasticité 2 400 kg/cm²)

Diamètre en mm	Poids en kg/m
5	0,154
6	0,222
8	0,395
10	0,617
12	0,888
14	1,208
16	1,578
20	2,466
25	3,854
32	6,313
40	9,864

Pour les armatures principales, le diamètre des barres varie de 8 à 40 mm, et pour les armatures secondaires de 5 à 12 mm. A chaque croisement d'armature, on assemble ces dernières entre elles au moyen de ligatures exécutées en fil de fer recuit de 0,7 à 1 mm de diamètre. Dans certains ouvrages ou parties d'ouvrages, notamment dans les dalles, on utilise aussi pour armature le métal déployé.

Quelques utilisations du béton armé : poutres, poteaux, linteaux, fondations, dalles, murs.

5.2.1. CALCUL DE COMPRESSION SIMPLE
(poteaux en béton armé)

On calculera la section de la pièce comme s'il n'y avait pas d'armature.

Taux de travail du béton ($\overline{\sigma_b}$) (non contrôlé) :

$\overline{\sigma_b}$ = 57 kg/cm² pour béton dosé à 300 kg de ciment 210/325 par m³
67,5 kg/cm² ..... 350 kg
75 kg/cm² ..... 400 kg

On utilisera des armatures reliées entre elles dans le sens transversal par des cadres (étriers) d'aciers ronds de faible diamètre (5 à 8 mm), dont l'espacement sera d'environ la moitié de la plus petite dimension de la pièce.

La section de la pièce sera donnée par la formule :

$$S\ (cm^2) = \frac{P\ (kg)}{\overline{\sigma_b}}$$

(P étant la charge de compression).

et la section des aciers longitudinaux sera donnée par la formule :

$$s = \frac{0{,}5 \text{ à } 1}{100} S$$

Les aciers longitudinaux augmentent la résistance de la pièce à l'effort de compression.

Comme ces aciers sont équivalents à une section de béton égale à leur section s multipliée par m (coefficient d'équivalence) la formule générale de la résistance à la compression sera :

$$P = (S + m.s.)\ \overline{\sigma_b}$$

m est généralement de l'ordre de 15.

Exemple :

Soit à calculer un poteau devant supporter une charge de 50 000 kg le béton étant dosé à 350 kg de ciment par m³ (cas le plus courant) :

$$S = \frac{50\,000}{67{,}5} = 740\ cm^2$$

Prenons un poteau de 26 × 28 ≠ 740 cm²

La section des aciers longitudinaux doit être :

s = 0,8 % de 740 cm² = 6 cm² ou 600 mm² soit 4 fers de 14 mm de diamètre.

Nous placerons comme armatures transversales des étriers de 5 mm tous les 0,15 m.

La charge que pourra supporter le poteau, compte tenu des aciers longitudinaux, sera de :

P = [(26 × 28) + (15 × 6,16)] × 67,5 = 55 377 kg

Si nous avions employé un poteau à section carrée de 27 × 27 ≠ 740 cm² nous aurions obtenu avec le même ferraillage :

P = [(27 × 27) + (15 × 6,16)] × 67,5 = 55 444 kg

Remarque :

A section égale, un poteau carré résiste mieux qu'un poteau rectangulaire et un poteau circulaire mieux qu'un poteau carré.
La longueur libre des poteaux doit être limitée pour éviter les risques de flambement.

TABLEAU DONNANT POUR UN TYPE DE POTEAU SA CHARGE LIMITE EN FONCTION DE SA HAUTEUR.

Poteau carré avec béton dosé à 350 kg de ciment 210/325. $\overline{\sigma_b} = 67{,}5$ kg/cm².

Section en cm	*Armatures*	% d'acier	*Charge max.*	Charge possible en fonction de la hauteur du poteau (en tonnes)					
				3 m	3,30	3,60	4	4,5	5
15/15 soit 225 cm²	4 Ø 10	1,4 %	18 T	12,8	11,8	10,7	9,6	8,5	7,6
	4 Ø 12	2	19 T 6	14	12,8	11,6	10,5	9,25	8,3
	4 Ø 16	3,55	23 T	16,4	15	13,6	12,4	10,9	9,7
20/20 soit 400 cm²	4 Ø 12	1,13	31 T	29,5	26	24,5	22	19,6	17,8
	8 Ø 10	1,57	33 T 5	31,5	29	26,7	24	21,3	19,2
	4 Ø 16	2	35 T	33	30	28	25	22,3	20
	4 Ø 20	3,3	40 T	38	34,5	32	28,5	39,4	23
25/25 soit 625 cm²	8 Ø 10	1 %	48 T 5	limite	limite	limite	limite	limite	limite
	4 Ø 16	1,3	50 T	»	»	»	43,5	60	35,7
	4 Ø 20	2	55 T	»	»	»	45	25,5	44,5
	4 Ø 25	3,2	62 T 5	»	»	»	49,5	38,8	69,8
30/30 soit 900 cm²	4 Ø 16	0,89	68 T	»	»	»	56	40	»
	8 Ø 12	1	70 T	»	»	»	»	44	70
	4 Ø 20	1,38	73 T	»	»	»	»	50	»
	4 Ø 25	2,2	81 T	»	»	»	»	65	58,3
35/35 soit 1225 cm²	4 Ø 16	0,65	90 T	»	»	»	»	67	63
	4 Ø 20	1	95 T	»	»	«	»	77	»
	4 Ø 25	1,6	102 T	»	»	»	»	34,5	»

5.2.2. — FLEXION SIMPLE :

A. **Les poutres.**

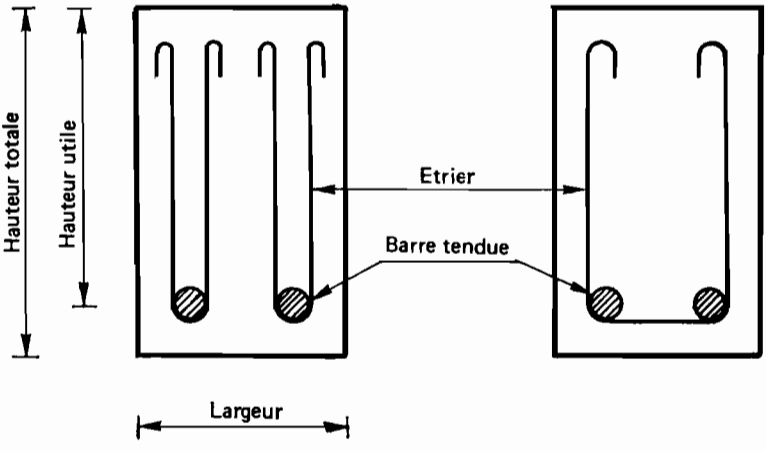
Il s'agit de déterminer la hauteur et la largeur de la poutre ainsi que son armature et les étriers.

Les tableaux suivants donnent des valeurs indicatives des dimensions à adopter pour des charges uniformément réparties sur la poutre.

Les poutres sont supposées être librement posées sur 2 appuis ou partiellement encastrées. Dans le cas de poutres totalement encastrées une barre sur deux des armatures indiquées dans les tableaux doit être relevée aux appuis.

L'écartement donné pour les étriers est valable sur le 1/4 de la demi-longueur de la portée en partant des appuis. Les écartements à donner aux étriers sur les 3 autres quarts de la demi-portée seront multipliés par 1,25 - 1,65 et 2,50.

La hauteur totale de la poutre sera obtenue en ajoutant à la hauteur utile la hauteur de béton nécessaire pour assurer un enrobage correct des armatures.



p = 300 kg/ml

Portées en m.		Hauteur utile (m)	Largeur (m)	Armature longitudinale (Ø en mm)	Etriers	
semi-encastrées	sur 2 appuis libres				écartement aux appuis (m)	Ø (mm)
2,80	2,50	0,205	0,10	3 Ø 8	0,10	5
3,35	3,00	0,225	0,12	3 Ø 10	0,10	5
3,90	3,50	0,27	0,13	3 Ø 12	0,09	5
4,50	4,00	0,30	0,14	4 Ø 10 en 2 nappes	0,09	5

p = 500 kg/ml

Portées en m		Hauteur utile (m)	Largeur (m)	Armature longitudinale (Ø en mm)	Etriers	
semi-encastrées	sur 2 appuis libres				écartement aux appuis (m)	Ø en mm (2 branches)
1,65	1,50	0,15	0,09	2 Ø 8	0,08	5
2,25	2,00	0,21	0,10	2 Ø 10 ou 3 Ø 8	0,09	5
2,80	2,50	0,255	0,10	4 Ø 8 en 2 nappes	0,08	5
3,35	3,00	0,27	0,14	3 Ø 12	0,07	5
3,90	3,50	0,30	0,16	4 Ø 12 en 2 nappes	0,06	5
4,50	4,00	0,34	0,17	8 Ø 8 en 2 nappes	0,14	6

p = 750 kg/ml

1,65	1,50	0,18	0,10	3 Ø 8	0,07	5
2,25	2,00	0,24	0,11	3 Ø 10	0,06	5
2,80	2,50	0,26	0,15	4 Ø 10 en 2 nappes	0,13	6
3,35	3,00	0,285	0,18	6 Ø 10 en 2 nappes	0,05	5
3,90	3,50	0,34	0,17	4 Ø 12 en 2 nappes	0,13	6
4,50	4,00	0,37	0,20	4 Ø 8 et 4 Ø 10 en 2 nappes	0,10	6

p = 1 000 kg/ml

1,65	1,50	0,20	0,11	2 Ø 10	0,06	5
2,25	2,00	0,26	0,12	3 Ø 10	0,12	6
2,80	2,50	0,29	0,15	4 Ø 10 en 2 nappes	0,11	6
3,35	3,00	0,32	0,20	6 Ø 10 en 2 nappes	0,10	6
3,90	3,50	0,37	0,20	8 Ø 10 en 2 nappes	0,09	6
4,50	4,00	0,40	0,23	6 Ø 12 en 2 nappes	0,08	6

Tableaux : Dalles, appuis simples, béton à charge 350 kg, charge (p) uniformément répartie.

Calculs sur une largeur de dalle de 1 m.

1) $p = 200$ kg/m²

Portée l m	Moments fléchissants en m.kg	Hauteur h cm	Section des armatures en cm²	Nbre de barres de résistance et diamètre en mm
1,5	95	3,5	2,80	6 barres 8 Ø
2	182	4,9	3,90	8 barres 8
2,5	320	6,3	5,00	10 barres 8
3	488	7,7	6,10	8 barres 10
3,5	716	9,4	7,50	10 barres 10
4	1 020	11,1	8,90	8 barres 12
4,5	1 520	13,5	10,80	10 barres 12
5	2 035	16,0	12,70	12 barres 12
6	3 500	20,8	16,60	12 barres 14
7	5 520	26,0	20,70	11 barres 16
8	8 400	31,9	25,40	13 barres 16

2) $p = 300$ kg/m²

Portée l m	Moments fléchissants en m.kg	Hauteur h cm	Section des armatures en cm²	Nbre de barres de résistance et diamètre en mm
1,5	128	4,2	3,40	8 barres 8 Ø
2	246	5,6	4,50	9 barres 8
2,5	410	7,3	5,80	8 barres 10
3	640	9,0	7,20	10 barres 10
3,5	923	10,8	8,60	11 barres 10
4	1 300	12,8	10,30	10 barres 12
4,5	1 840	14,9	11,90	11 barres 12
5	2 500	17,3	13,90	7 barres 16
6	4 160	22,5	18,00	12 barres 14
7	6 430	28,1	22,40	12 barres 16
8	9 600	34,0	27,10	15 barres 16

3) p = 400 kg/m²

Portée l m	Hauteur h en m.kg 158	1 560 cm	Section des armatures en cm²	Nbre de barres de résistance et diamètre en mm
1,5	Moments	4,5	3,60	8 barres 8 ∅
2	fléchissants	6,3	5,00	10 barres 8
2,5	300	8,0	6,40	8 barres 10
3	500	9,7	7,80	10 barres 10
3,5	770	11,8	9,40	9 barres 12
4	1 120	13,9	11,10	10 barres 12
4,5	2 220	16,7	13,30	12 barres 12
5	2 980	19,1	15,20	8 barres 16
6	4 950	24,6	19,60	10 barres 16
7	7 500	30,2	24,00	12 barres 16
8	11 200	36,7	29,30	16 barres 16

4) p = 500 kg/m²

Portée l m	Moments fléchissants en m.kg	Hauteur h cm	Section des armatures en cm²	Nbre de barres de résistance et diamètre en mm
1,5	190	4,9	3,90	8 barres 8 ∅
2	358	6,6	5,30	8 barres 10
2,5	650	9,0	7,20	10 barres 10
3	912	10,8	8,60	11 barres 10
3,5	1 310	12,8	10,30	10 barres 12
4	1 810	14,9	11,90	11 barres 12
4,5	2 540	17,7	14,10	13 barres 12
5	3 360	20,1	16,00	12 barres 14
6	5 500	26,0	20,70	11 barres 16
7	8 270	32,5	25,10	14 barres 16
8	12 200	38,4	30,70	17 barres 16

B. Les dalles

Il s'agit de déterminer l'épaisseur à donner à la dalle et l'armature à utiliser. Nous ne traiterons ici que du cas le plus courant :

— béton dosé à 350 kg de ciment par m^3 de béton mis en œuvre;

— dalle reposant sur 2 appuis (et non encastrée);

— charge uniformément répartie.

Les tableaux 1 à 4 donnent alors, suivant la charge au m^2 (p) et la portée de la dalle (l) :

— la « hauteur théorique » de la dalle (h) c'est-à-dire la distance de l'armature à la face supérieure de la dalle; la hauteur totale comprend en plus la distance de l'armature à la face inférieure de la dalle, qu'on fixe en général à 2 cm.

— le nombre et le diamètre des barres de résistance pour 1 m de largeur de dalle; les barres de répartition (perpendiculaires aux barres de résistance) auront un écartement double de celles-ci avec le même diamètre.

Exemple : Soit une dalle de 4 m de portée, reposant sur 2 appuis et supportant une charge uniformément répartie de 500 kg/m^2, le béton utilisé étant dosé à 350 kg.

Si nous nous reportons au tableau 4 ($p = 500$ kg/m^2) nous voyons que, pour une portée de 4 m, il faut :

— une hauteur h de 14,9 cm, soit une hauteur totale de : $14{,}9 + 2 = 16{,}9$ cm

— 11 barres de résistance par mètre de largeur de la dalle, ces barres ayant un diamètre de 12 mm.

Pour les barres de répartition, elles auront également 12 mm de diamètre et il en faudra 5,5 au mètre soit 22 pour toute la dalle.

5.2.3. COFFRAGES

Les coffrages sont les moules (en bois ou en tôle) généralement provisoires, à l'intérieur desquels seront placées les armatures et où sera coulé le béton.

Les coffrages sont appelés à supporter des poids élevés et sont soumis aux ébranlements dus au damage; ils doivent donc être très solidement construits et bien étayés. L'épaisseur des planches couramment employées est de 2 à 3 cm; la distance des armatures entre elles et aux parois des coffrages doit être suffisante pour permettre la mise en place correcte du béton et laisser une distance libre **au moins égale à la grosseur maximum de l'agrégat** (sable : de 0,1 mm à 6,3 mm; gravier : de 6,3 mm à 25 mm; et pierre : de 25 à 100 mm).

— Damage

La mise en œuvre du béton nécessite que le béton, soit bien tassé au fur et à mesure du remplissage des coffrages pour assurer une bonne adhésion du béton aux armatures d'une part, et la protection

des armatures contre la corrosion, d'autre part. Le damage peut être avantageusement remplacé par la vibration.

— **Séchage**

On entretiendra par arrosage (8 jours) l'humidité nécessaire dans le béton pour en assurer la prise et le durcissement dans de bonnes conditions. L'ouvrage sera protégé du soleil (sacs de ciment vides) pour éviter un retrait trop rapide entraînant des fissures.

— **Décoffrage**

Le délai de décoffrage varie suivant l'ouvrage exécuté :

- murs verticaux ..... 2 jours
- poteaux non chargés ..... 4 jours
- joues des poutres des linteaux et des poteaux, les hourdis restant étayés ..... 8 jours
- dalles et hourdis dont la portée est inférieure à 2 m. 12 jours
- fonds de poutres de linteaux, grandes dalles et hourdis de portée supérieure à 2 m ..... 21 jours

— **Retrait**

Au bout de 6 mois un béton ayant une teneur en ciment de 350 kg aura un retrait de 0,40 mm/m.

5.3. Le béton de terre

— **Définition**

Le béton de terre est constitué par de la terre argileuse, exempte d'éléments de plus de 20 mm et de matières organiques, et composé des divers agrégats dans des proportions optima déterminées préalablement par des essais locaux. Généralement une bonne terre à béton contient en % du poids :

— gravier $< 2\ \%$
— sable $= 8\ \%$
— limon $= 20\ \%$
— argile $= 70\ \%$

Lorsque l'analyse des sols indique une disproportion importante entre les divers constituants, on est amené à modifier la texture du matériau (par mélange de sable ou d'argile).

Eau : La quantité d'eau à ajouter ne peut être définie que par des essais répétés : si l'eau est mise en trop petite quantité, le matériau prêt à être utilisé sera friable et n'offrira aucune solidité, si elle est mise en trop grande quantité le matériau aura trop de retrait et se fissurera.

— **Utilisation**

- Béton de terre banché (coulé dans un coffrage)
- Fabrication de briques pleines.

— **Le béton de terre banché**

Le béton de terre banché sera cité à titre indicatif seulement. Sa fabrication et sa mise en œuvre étant très délicates, il y aura intérêt

à se reporter à un ouvrage spécialisé (BCEOM, La construction en béton de terre).

6. LES AGGLOMERES

6.1. Les agglomérés de ciment

— Dosage courant : 50 l de liant
120 l de gravillon
90 l de sable

— Dimensions usuelles (cm) : 5×20×40, 10×20×40, 15×20×40, 20×20×40, 25×20×40.

6.2. Les agglomérés de béton de terre

La fabrication comprend :

— **Malaxage**

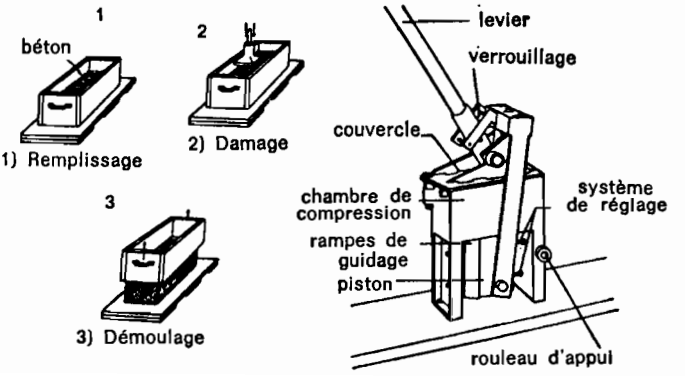
- **A la main** ajouter l'eau nécessaire avant malaxage. Le mélange doit être homogène et sans grumeaux et doit être foncé sans paraître mouillé.
- **Mécanique,** le matériel à employer est un broyeur malaxeur à cuve cylindrique.

La terre doit être mise aussi sèche que possible dans le malaxeur.

— **Moulage et compactage**

Se font soit à la main, soit mécaniquement. Nombre d'agglomérés obtenus avec les presses communément utilisées :

- Landcrete : (600 agglomérés par jour) 15 × 23 × 29
- Cinva-Ram Japy : (10,0 × 13,7 × 29,4) 235 à 250 briques/m³ de béton de terre.



— **Séchage**

Le séchage se fera sous un abri bien ventilé. On laissera sécher ainsi les agglomérés pendant environ 1 mois.

A l'exécution les joints seront faits en terre, on pourra ajouter un peu de ciment (80 à 100 kg par m^3 de terre).

6.3. Les agglomérés en béton de terre amélioré :

Exemple de composition du mélange :

Terre latéritique tout venant ..	0,5 m^3
Argile	0,5 m^3
Sable	0,2 m^3
Ciment	50 kg

Le dosage de ciment variera en fonction du pourcentage d'argile contenue dans le matériau utilisé. Le pourcentage peut varier de 3 à 12 %.

Le mélange des agrégats se fait à sec puis on y ajoute le ciment et le sable qui ont été mélangés à part. Le malaxage se fait jusqu'à obtention d'un matériau homogène auquel on ajoute de l'eau.

Un mètre cube de mélange permet de fabriquer :

— 83 agglomérés de 15 × 20 × 40
— 125 agglomérés de 10 × 20 × 40

— **Utilisation**

Les agglomérés peuvent être utilisés au plus tôt un mois après leur fabrication, le séchage se faisant sous abri. Les joints sont faits au mortier de ciment.

Comme pour les agglomérés en béton de terre ordinaire, les fondations et soubassements des constructions réalisées avec des agglomérés en terre améliorée, doivent être exécutés en matériaux durs (béton ou pierres).

Les murs extérieurs seront protégés des intempéries par un enduit au mortier de ciment.

7. LES BRIQUES CUITES

— **Matériau employé** : terre argileuse expurgée des débris végétaux.

— **Composition** : argile, limon, sable fin.

— **Séchage** : le séchage se fait sous abri et ne doit pas être trop rapide pour éviter les risques de fissuration.

— **Cuisson** : La pâte d'argile doit être portée à une température de 550° à 1 200° C.

— **Dimensions** courantes des briques cuites :

22 × 11 × 5,5
30 × 15 × 8
30 × 11 × 11

8. LE BOIS

Le bois employé en construction doit être sec et dur.

— Conservation des bois avant utilisation :

Les mettre dans un endroit sec et les protéger par une couche de goudron, d'huile de vidange ou deux couches de peinture à l'huile (pour les pieux et les poteaux brûler le bout qui doit entrer en terre).

— Dimensions :

Madriers 8 × 21, 8 × 23 cm
Bastaings 6 × 15, 8 × 15 cm
Chevrons 6 × 6, 8 × 8, 10 × 10 cm
Planche 17 mm, 23 mm à 40 mm d'épaisseur
230 mm à 105 mm de largeur.

On trouvera page suivante un tableau des caractéristiques physiques et mécaniques de quelques bois tropicaux souvent utilisés; voici un essai d'interprétation établi par le Centre Technique Forestier Tropical de Nogent-sur-Marne :

INTERPRETATION SOMMAIRE DES DONNEES DU TABLEAU DE LA PAGE SUIVANTE

Dureté :

- Très tendre : 0,2 — 1,5
- Tendre : 1,5 — 3
- Mi-dur : 3 — 6
- Dur : 6 — 9

Densité :

- Très léger : < 0,50
- Léger : 0,50 — 0,64
- Mi-lourd : 0,65 — 0,79
- Lourd : 0,80 — 0,95

Cisaillement

- Résistance faible : 50 — 70
- Résistance moyenne : 70 — 100
- Résistance forte : 100 — 160

Compression	**Feuillus légers**	**Feuillus lourds**
● Résistance faible	200 — 300	400 — 500
● Résistance moyenne	300 — 400	500 — 700
● Résistance forte	400 — 600	700 — 800

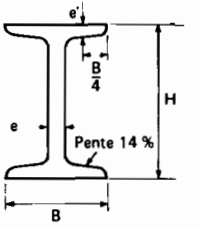
Flexion statique

- Résistance faible < 1 100
- Résistance moyenne 1 100 — 1 800
- Résistance forte > 1 800

Origine	Nom scientifique	Nom vulgaire	Dureté	Poids spécifique moyen	Cisaillement transversal (Résistance kg/cm²)	Compression axiale (Résistance kg/cm²)	Flexion statique axiale (Résistance kg/cm²)
		BOIS DE MENUISERIE					
Cameroun	Entandrophragma cylindricum	Sapelli	3 -4,6	0,69-0,73	80,7	530-720	1 220-1 880
Côte d'Ivoire	E. utile	Aboudikro	3,1-3,3	0,60-0,61		510-540	1 200-1 330
Côte d'Ivoire		Sipo	2,3-2,5	0,55-0,59		460-510	900-1 160
Côte d'Ivoire	Khaya ivorensis	Acajou Bassam					
Cameroun		Acajou N'gollon	1,3-1,9	0,46-0,52		400-480	870-990
Nigéria		« Nigerian Mahogany »					
		BOIS DE CHARPENTE					
Cameroun	Afzelia. pachyloba	Doussié	6 -9,4	0,74-0,84		790-890	1 530-2 040
Gabon	Aucoumea klaineana	Okoumé	0,9-2	0,37-0,49		310-450	730-1 020
Gabon							
Côte d'Ivoire	Chlorophora excelsa	Iroko	3,5-6	0,75-0,66		610-650	1 460-1 560
Congo							
Cameroun	Erythroxylum mannifi	Landa	2,1-3	0,63-0,67		530-580	1 150-1 400
Gabon		Dibitou					
Côte d'Ivoire	Lovoa trichiloïdes		2,5-2,7	0,53-0,57	70,0	450-590	1 110-1 130
Congo		Bosso					
Nigéria		« Nigerian Walnu »					
Gabon, Nigéria	Pterocarpus	Padouk « Camwood »	3,3-8,9	0,63-0,90		670-780	1 330-2 220
Gabon	Tarrietia utilis	Niengon ou Ogoue	2,1-3,9	0,69-0,72		530-630	1 110-1 750
Côte d'Ivoire		Niangon					
Togo, Cameroun	Tectona grandis	Teck	3,0-3,9	0,69-0,76		510-690	1 130-1 240
Côte d'Ivoire	Terminalia ivorensis	Framiré	1,7-3,2	0,45-0,67	61,0	420-540	930-1 270
Côte d'Ivoire		Fraké					
Cameroun	Terminalia superba	Fraké	1,4-3,6	0,47-0,62	50-81	470-610	970-1 200
Congo, Gabon		Limbo					
Côte d'Ivoire	Triplochiton scleroxylon	Samba, Ayous	0,6-2,1	0,32-0,49	37-51	270-440	580-1 000
Cameroun							

9. LES FERS PROFILES

9.1. Poutrelles IPN. Ailes à faces inclinées.

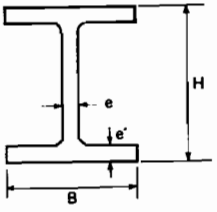


Dimensions				Section cm²	Poids au ml kg/ml	Charge en kg uniformément répartie (y compris le poids propre) que peut supporter le fer posé sur un champ, sur deux appuis distants de :					
H mm	B mm	e mm	e' mm			1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
80	42	3,9	5,9	7,58	5,95	1 870	935	620	460	370	310
100	50	4,5	6,8	10,6	8,32	3 270	1 630	1 090	810	650	540
120	58	5,1	7,7	14,2	11,2	5 230	2 610	1 740	1 300	1 040	870
140	66	5,7	8,6	18,3	14,4	7 840	3 920	2 610	1 960	1 560	1 300
160	74	6,3	9,5	22,8	17,9	11 230	5 610	3 740	2 800	2 240	1 870
180	82	6,9	10,4	27,9	21,9	15 450	7 720	5 150	3 860	3 090	2 570
200	90	7,5	11,3	33,5	26,3	20 540	10 270	6 840	5 130	4 100	3 420
220	98	8,1	12,2	39,6	31,1	26 680	13 340	8 890	6 670	5 330	4 440
240	106	8,7	13,1	46,1	36,2	33 880	16 940	11 290	8 470	6 770	5 640
260	113	9,4	14,1	53,4	41,9	42 330	21 160	14 110	10 580	8 460	7 050
280	119	10,1	15,2	61,1	48,0	51 930	25 960	17 310	12 980	10 380	8 650
300	125	10,8	16,2	69,1	54,2	62 590	31 290	20 860	15 640	12 510	10 430

NOTA : Le taux de fatigue du métal a été pris égal à 1 200 kg/cm². Pour des taux de fatigue R différents de 1 200 kg/cm² il faut multiplier les charges indiquées par le rapport $\frac{R}{1\,200}$.

Les aciers actuels admettent une charge de sécurité de 1 600 kg/cm².

9.2. Poutrelles HE à larges ailes à faces parallèles.

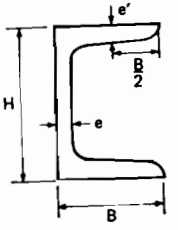


Dimensions				Section cm²	Poids au ml kg/ml	Charge en kg uniformément répartie (y compris le poids propre) que peut supporter le fer posé sur un champ, sur deux appuis distants de :					
H mm	B mm	e mm	e' mm			1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
100	100	6	10	26,0	20,4	8 640	4 320	2 880	2 160	1 720	1 440
120	120	6,5	11	34,0	26,7	13 820	6 910	4 600	3 450	2 760	2 300
140	140	7	12	43,0	33,7	20 730	10 360	6 910	5 180	4 140	3 450
160	160	8	13	54,3	42,6	29 850	14 920	9 950	7 460	5 970	4 970
180	180	8,5	14	65,3	51,2	40 890	20 440	13 630	10 220	8 170	6 810
200	200	9	15	78,1	61,3	54 720	27 360	18 240	13 680	10 940	9 120
220	220	9,5	16	91,0	71,5	70 650	35 320	23 550	17 660	14 130	11 770
240	240	10	17	106,0	83,2	90 040	45 020	30 010	22 510	18 000	15 000
260	260	10	17,5	118,4	93,0	110 400	55 200	36 800	27 600	22 080	18 400
280	280	10,5	18	131,4	103,0	132 480	66 240	44 160	33 120	26 490	22 080
300	300	11	19	149,1	117,0	161 280	80 640	53 760	40 320	32 250	26 880

NOTA : Le taux de fatigue du métal a été pris égal à 1 200 kg/cm². Pour des taux de fatigue R différents de 1 200 kg/cm² il faut multiplier les charges indiquées par le rapport $\frac{R}{1\,200}$.

Les aciers actuels admettent une charge de sécurité de 1 600 kg/cm².

9.3. Profilé UPN. Ailes à faces inclinées.



Dimensions				Section cm²	Poids au ml kg/ml	Charge en kg uniformément répartie (y compris le poids propre) que peut supporter le fer posé sur un champ, sur deux appuis distants de :					
H mm	B mm	e mm	e' mm			1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
80	45	6	8	11,0	8,64	2 540	1 270	840	630	500	420
100	50	6	8,5	13,5	10,60	3 950	1 970	1 310	980	790	650
120	55	7	9	17,0	13,35	5 820	2 910	1 940	1 450	1 160	970
140	60	7	10	20,4	16,00	8 290	4 140	2 760	2 070	1 650	1 380
160	65	7,5	10,5	24,0	18,85	11 130	5 560	3 710	2 780	2 220	1 850
180	70	8	11	28,0	22,00	14 400	7 200	4 800	3 600	2 880	2 400
200	75	8,5	11,5	32,2	25,30	18 330	9 160	6 110	4 580	3 660	3 050
220	80	9	12,5	37,4	29,40	23 520	11 760	7 840	5 880	4 700	3 920
240	85	9,5	13	42,3	33,20	28 800	14 400	9 600	7 200	5 760	4 800
260	90	10	14	48,3	37,90	35 610	17 800	11 870	8 900	7 120	5 930
280	95	10	15	53,3	41,80	43 200	21 600	14 400	10 800	8 640	7 200
300	100	10	16	58,8	46,20	51 360	25 680	17 120	12 840	10 270	8 560

NOTA : Le taux de fatigue du métal a été pris égal à 1 200 kg/cm².
Pour des taux de fatigue R différents de 1 200 kg/cm² il faut multiplier les charges indiquées par le rapport $\frac{R}{1\,200}$.
Les aciers actuels admettent une charge de sécurité de 1 600 kg/cm².

IV

TERRASSEMENTS

LES FOUILLES :

Excavations en tranchées ou en pleine masse, destinées à atteindre le niveau d'appui des fondations d'un ouvrage ou d'un bâtiment.

— Travail en déblai à la main :

Rendement moyen journalier d'un manœuvre : 1,5 m³ en terrain moyen (densité 1,5 ou 1,8) avec chargement à la brouette ou wagonnet correspondant à une élévation de 1,60 m.

— A la brouette :

Moyen de transport à bras pour distances égales ou inférieures à 20 m. Contenance 50 à 70 litres. Parcours moyen 2 800 m à l'heure tant en charge qu'à vide.

Le tableau p. 305 indique les quantités moyennes de déblais qu'un terrassier de force moyenne peut piocher et jeter à 1,60 m de hauteur ou charger en brouette, ou en camion, pendant une journée de travail de 8 heures, en grandes tranchées (il s'agit de normes européennes aménagées pour l'Afrique Tropicale).

COEFFICIENT DE FOISONNEMENT

(augmentation de volume)

	Sans compression	Après pilonnage et arrosage
Terre végétale, alluvions, sable ..	1,10	1,05
Terre franche très grasse	1,20	1,07
Terre marneuse et argileuse ..	1,50	1,30
Terre marneuse très compacte et dure	1,70	1,40
Terre crayeuse	1,20	1,10
Latérite	1,55	1,30
Roc à la mine	1,65	1,40

Nature du sol	Cubature fouillée et jetée à 1 m en 1 journée de 8 heures	Répartition des 8 heures de la journée	
		à la fouille	au jet ou à la charge
	Mètre cube	Heures	Heures
Terres végétales (alluvions, sable, etc.)	4.0	5,0	3,0
Terres marneuses et argileuses moyennement compactes	3,0	5,3	2,7
Terre compacte dure	2,5	5,7	2,3
Terre crayeuse	2,5	5,6	2,4
Terre fortement imbibée d'eau	2,0	5,8	2,2
Latérite moyennement dure	1,5	6,7	1,3
Latérite très dure	1,2	7,0	1,0
Roc tendre, enlevé au pic et au coin	1,0	7,0	1,0

CARACTERISTIQUES DES TERRAINS A FOUILLER

Terrain ordinaire	Terres, sables, gravois	Facile à prendre à la pelle (sables, cailloux, remblais de gravois) ou à ameublir à la pioche (terre végétale).
Terrain semi-compact	Argileux, pierreux, caillouteux	Difficile à prendre à la pelle, mais facilement attaquable à la pioche ou au pic.
Argiles plastiques et glaises franches	Argiles, glaises compactes	Difficile à attaquer à la pioche et au pic.
Masse compacte	Calcaire, ancienne maçonnerie	Nécessitant l'emploi du pic, de la pince ou du coin.

CUBAGE APPROXIMATIF CHARGE EN UNE HEURE DANS LES TERRAINS DIFFERENTS

Terrain	Rendement horaire moyen en m^3
Léger et sablonneux	1,0 à 1,2
Lourd (marne et argile)	0,4 à 0,6
Dur et caillouteux	0,3 à 0,4

V

FONDATIONS

Les fondations d'une construction sont constituées par les parties de cet ouvrage en contact avec le sol auquel elles transmettent les charges de la superstructure. Leurs matériaux doivent être très résistants à la pression et à l'humidité.

Toutes les parties des fondations d'un bâtiment doivent être liées entre elles.

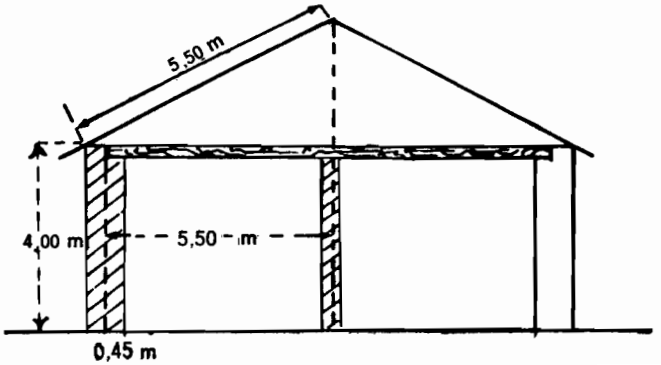
1. CALCUL DES FONDATIONS

Leurs dimensions (hauteur, longueur, largeur) sont fonction du poids de la construction et de la résistance du terrain.

— **Poids de la construction**

Exemple :

Un mur de façade (voir coupe ci-dessous) épais de 0,45 m reçoit le poids du plafond et de la toiture.



Densité de la maçonnerie = 2 000 kg/m³
La distance au mur de refend = 5,00 m

— **Poids de la maçonnerie** par mètre courant de mur :

Volume : $100 \times 4{,}00 \times 0{,}45 = 1{,}80$ m³
Poids : $2\,000 \times 1{,}80 = 3\,600$ kg par mètre courant

— **Poids du plafond** par mètre courant de mur :

Supposons que le plafond pèse 200 kg/m² ;

le mur supporte : $\frac{5}{2} \times 200 = 500$ kg par mètre courant

— **Poids de la toiture** par mètre courant de mur :

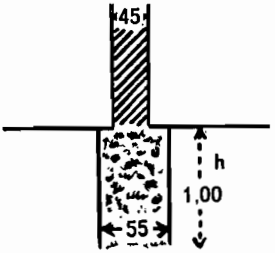
Supposons que la toiture pèse 120 kg/m² ;
le mur supporte : $5{,}50 \times 120 = 660$ kg par mètre courant

— **Charge totale pour la fondation**

3 600 kg + 500 kg + 660 kg = 4 760 kg au mètre courant

— **Fondation du mur :**

Supposons que le bon sol admette une pression de 1,5 kg par cm² et se trouve à 1 m de profondeur.



Le béton de fondation aura une surlargeur de 0,05 m de chaque côté (voir coupe).

Taux de travail du béton de fondation :

$$\frac{4\,760}{100 \times 55} = 0{,}86 \text{ kg/cm}^2$$

Et le taux de travail du sol, en ajoutant le poids propre du béton de la rigole (poids du béton employé 2 200 kg par m³) :

Poids du béton de la rigole (sur une longueur L = 1 m) :

L × e × h × p = 1,00 × 0,55 × 1,00 × 2 200	= 1 210 kg
Charge de la fondation	+ 4 760 kg
Charge du mur	5 970 kg

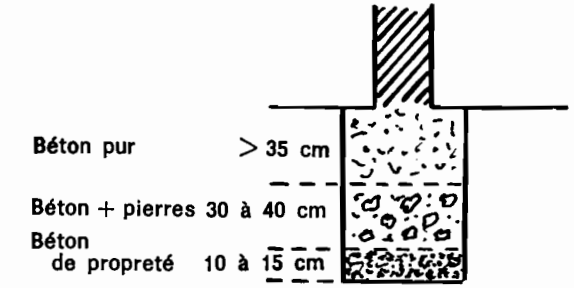
Soit, au cm² : $\frac{5\,970}{100 \times 55} = 1{,}085 \text{ kg/cm}^2$

Le bon sol travaillant à 1,5 kg, il supportera largement cette construction.

2. EXECUTION DES FONDATIONS

La fouille sera coffrée ou non en fonction de la tenue du terrain en place.

Elle se composera :



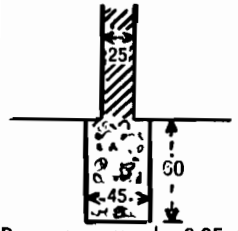
- d'un béton de propreté dosé à 200 kg de 10 à 15 cm d'épaisseur disposé en fond de fouille;
- d'un béton pur dosé à 250 kg.

Pour les fondations dépassant 0,60 m un béton dosé à 250 kg additionné de grosses pierres sera mis en place sur 0,30 cm à 0,40 cm de hauteur, le reste de la fondation sera élevé en béton pur dosé à 250 kg jusqu'au terrain naturel.

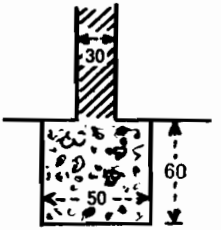
— **Rendements :**

Le rendement d'un maçon est environ de 3 m³ de béton de fondation par jour, avec une équipe de 4 hommes (rendement obtenu normalement dans l'opération puits Tchad).

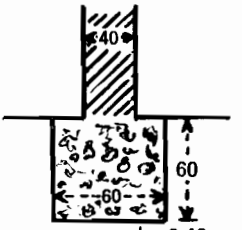
Exemple de fondations (Béton à 250 kg, bon sol, bâtiment de plein-pied) :



Pour un mur de 0,25 m d'épaisseur et de 3 m de haut, en agglomérés de ciment



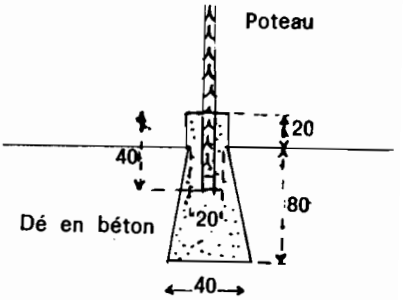
Pour un mur de 0,30 m d'épaisseur et de 3 m de haut en briques



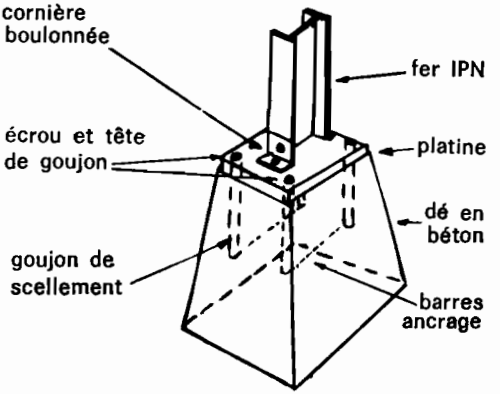
Pour un mur de 0,40 m d'épaisseur et de 3 m de haut en briques de terre

- Pour un hangar métallique de 10 m par 20 m :

a) base de chaque poteau noyée dans un dé de béton;



b) base de chaque poteau boulonnée, ou soudée, sur une plaque métallique dite « platine » enfilée et boulonnée sur des goujons (filetés), scellés au préalable ce qui pose des problèmes au moment de la mise en place des poteaux.



VI

MAÇONNERIE

1. LES MURS

On distingue deux sortes de murs, les murs porteurs et les murs de refend.

1.1. Murs porteurs

Ils reçoivent le poids de la toiture, et les ouvertures (portes, fenêtres).

Ils peuvent être :

— En briques de terre, épaisseur : 0,30 m à 0,40 m (l'épaisseur doit être au moins égale au 1/10 de leur hauteur). La longueur des ouvertures ne dépassera pas 1/3 de la longueur du mur au maximum. Les trumeaux (espaces entre 2 ouvertures) seront d'1 m minimum.

— En agglomérés de ciment, épaisseur : 0,20 m à 0,25 m. La charge admissible est de 2,5 kg à 5 kg au cm^2. Le poids des agglomérés est de 1 500 kg à 2 000 k g au m^3. Il faut 13 agglomérés de 40 × 20 pour faire 1 m^2 de maçonnerie.

— En briques, épaisseur : d'environ 0,20 m à 0,30 m. La charge admissible est de 100 kg à 200 kg au cm^2. Le poids au m^3 est d'environ 2 000 kg. Il faut 85 à 115 briques au m^2.

1.2. Murs de refend

Ils aident à supporter le poids de la toiture quand la distance est trop grande entre les murs porteurs. Pour les constructions simples ils ont la même épaisseur que les murs porteurs.

1.3. Ossatures

L'ossature d'un bâtiment est l'ensemble des poteaux, chaînages et poutres liés les uns aux autres et qui supportent les charges de tout le bâtiment.

a. Poteaux

Ils remplacent les murs de refend, ils peuvent être faits en maçonnerie d'agglomérés de ciment, de briques, de pierres ou de béton armé dosé à 350 kg (fers 10 à 16 suivant les cas).

b. Poutres

Elles aident à supporter les planchers ou la toiture (terrasse) quand la distance entre murs est trop grande. Leurs sections varient suivant le poids à supporter et la portée.

c. Chaînages

Ils ceinturent l'ensemble du bâtiment en haut et en bas des murs porteurs, ils sont exécutés en béton armé dosé à 350 kg. Leur épais-

seur varie de 0,10 à 0,20 m et ils sont disposés suivant le périmètre du bâtiment, et éventuellement sur les refends.

2. LES CLOISONS

Elles séparent les différentes pièces entre elles. Les cloisons sont construites, également, en briques de terre, en agglomérés ou en briques; leur épaisseur est de 10 à 15 cm.

Rendement :

Le rendement d'une équipe de 4 hommes pour monter un mur ou une cloison peut être de 8 m² de maçonnerie par jour.

3. LES ENDUITS

Les murs comme les cloisons reçoivent pour la protection contre la pluie, pour l'isolation thermique et pour l'aspect, un enduit de ciment ou de chaux dont les dosages varient suivant l'usage (épaisseur de 20 à 25 mm) :

Dosages :

— **Enduits intérieurs :**

- 120 l de sable pour 50 kg de ciment
- 100 l de sable pour 50 kg de chaux.

— **Enduits extérieurs :**

90 l de sable pour 50 kg de ciment.

— **Enduits imperméables (citerne, réservoir) :**

50 l de sable pour 50 kg de ciment.

Dans les constructions en terre leur pose est délicate, il faut bien mouiller avant la pose et après la pose.

Rendement :

Le rendement d'un maçon est d'environ 20 m² d'enduit ciment par jour, avec une équipe de 4 hommes.

4. DENSITE DE LA MAÇONNERIE

Maçonnerie de moellons tendres ou de briques cuites pleines, hourdés au mortier de ciment dosé à 250 kg.	1 500 à 1 800 kg/m³
Maçonnerie en pierres dures hourdées de ciment.	
— Moellons de calcaire dur	2 200 kg/m³
— Moellons de granit	2 400 kg/m³
— Pierre de taille calcaire	2 400 kg/m³
— Pierre de taille granit	2 600 kg/m³

VII

REVETEMENTS DE SOL

Ils reçoivent surtout la charge du mobilier.

— **Sol-ciment :**

Mélange de sol pulvérisé (exempt d'impuretés) et de ciment. En s'hydratant, le ciment mélangé avec le sol durcit et forme un revêtement semi-rigide, solide et durable.

La quantité de ciment varie suivant la nature du sol, mais atteint en général 10 % en poids du sol sec. L'épaisseur de la couche est généralement de 15 cm.

— **Béton** (voir tableau dosages page 287)

Le revêtement en béton se compose :

1) d'un béton de sol 8 à 10 cm.
2) d'une chape 2 cm à 3 cm.

— **Carreaux :**

Le carrelage peut être exécuté en grès cérame, la pose se fait sur chape en mortier maigre, préalablement recouverte d'un lit de ciment de 1 à 2 cm. Les dimensions courantes des carreaux sont :

10 × 20	50 carreaux par m²
12 × 24,5	32 carreaux par m²
10 × 10	100 carreaux par m²
15 × 15	44 carreaux par m²
25 × 25	16 carreaux par m²

Rendement :

Le rendement d'un maçon pour une chape en ciment varie suivant les cas de 10 m² par jour, avec 4 hommes, pour le carrelage de 3 m² à 5 m² par jour avec 2 hommes.

VIII

PORTES ET FENETRES

Dimensions :

— **Pour les portes :**

- largeur : 60 cm, 70 cm, 80 cm, 90 cm, 100 cm
- hauteur : 2,10 m à 2,20 m.

— **Pour les fenêtres simples :**

- largeur : grandes fenêtres 1,65 m à 2,40 m
  moyennes fenêtres 1,45 m à 1,55 m
  petites fenêtres 1,10 m à 1,30 m
  lucarnes 0,80 m à 1,10 m

- hauteur : 1,60 à 1,90 m.

La tablette des fenêtres est de 0,80 m à 1 m du plancher. Pour une hauteur de 3 m sous plafond, on place le linteau de 0,30 m à 0,40 m du plafond.

Il est recommandé de faire exécuter les huisseries et menuiseries par des ateliers spécialisés utilisant des bois très secs, et préalablement traités contre les insectes (Termites), et les champignons. Pour les premiers on utilisera des produits chimiques par bains ou par badigeons : dieldrine, heptachlore, xylophène, etc.; pour les champignons : huile de vidange, gourdon, crésyl.

Dans les pays tropicaux, on utilise de préférence des huisseries métalliques, moins sujettes aux variations hygrométriques que les huisseries en bois, mais plus chères et plus sujettes aux oxydations.

IX

PLAFOND

Isolant acoustique et thermique, il sera toujours séparé de la toiture. Une circulation d'air est généralement aménagée entre plafond et toiture.

Les matériaux couramment employés sont le contre-plaqué, l'éverite et l'isorel. Leur pose se fait sur bois.

Il est bon d'ajouter au-dessus du plafond un bon isolant :

— laines minérales : laine de verre (ne doit pas être mouillée)
— mousses plastiques : chlorure de vinyle, polystyrène (rigide ou souple), polyuréthane (très inflammables).

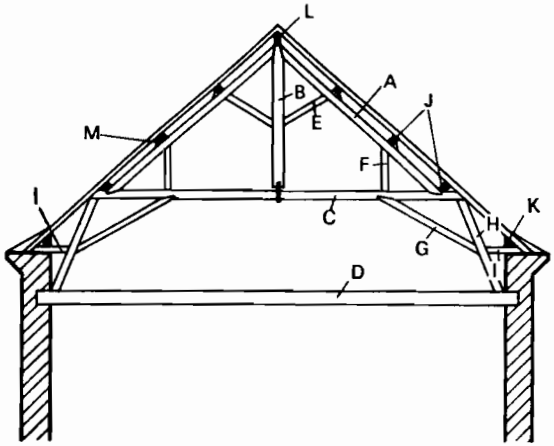
La laine de verre est utilisée en panneaux (épaisseurs 45, 60, 75, 100 mm; largeur 50 cm; longueur 1 m) ou en rouleaux (épaisseurs 45, 60, 75 mm; largeur 1,20 m; longueurs 12,5 m, 10 m, 7,5 m).

X

COUVERTURE

1. LES CHARPENTES

Les charpentes sont constituées d'un assemblage de pièces soit en bois, soit métalliques, ayant chacune un nom propre et jouant un rôle bien défini quant à la solidité de l'ensemble. Ces pièces sont les suivantes :



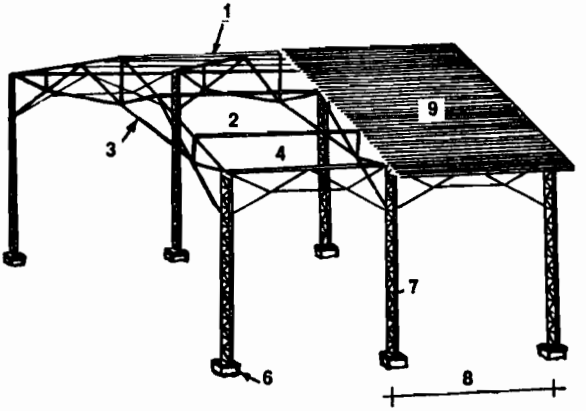
A Arbalétrier
B Poinçon
C Entrait retrousse
D Entrait poutre
E Contre fiche
F Jambette
G Aisselier
H Jambe de force
I Blochet
J Pannes intermédiaires
K Panne sablière
L Panne faîtière
M Echantignole

— **Fermes :**

Assemblages triangulaires et verticaux destinés à supporter la couverture; une ferme comprend :

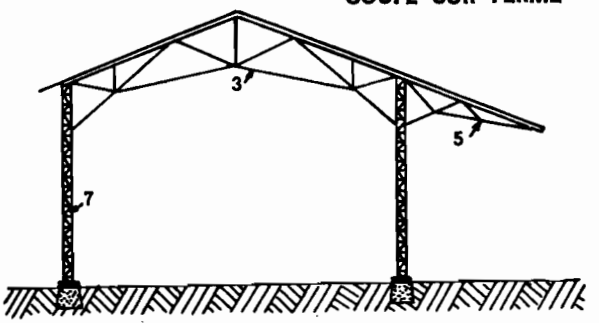
- l'entrait posé horizontalement d'un mur à l'autre
- — les deux arbalétriers posés obliquement et complétant le triangle;
- — le poinçon placé verticalement dans l'axe de la ferme.

SCHEMA D'UNE CHARPENTE METALLIQUE



1. Faitage.
2. Pannes.
3. Fermes.
4. Sablières.
5. Auvent.
6. Dés.
7. Poteaux.
8. Travée.
9. Couverture.

COUPE SUR FERME



● Les fermes supportent les **pannes :** pièces de charpente perpendiculaires aux fermes, placées horizontalement sur les arbalétriers (et calées par les échantignoles); dans le cas d'une couverture métallique, celle-ci repose directement sur les pannes.

● **Chevrons :** Pièces de bois de section moyenne (8 × 8 ou 8 × 6) perpendiculaires aux pannes et s'appuyant sur elles.

● **Liteaux :** Pièces de bois de petite section placées horizontalement sur les chevrons pour supporter des tuiles ou des ardoises.

1.1. Charpentes en bois.

Dimensions des bois de charpente :

Epaisseur × largeur :

— Madriers : 23 × 8 cm;
— Chevrons : 6 × 6 cm, 8 × 8 cm, 4 × 8 cm;
— Bastaings : 8 × 15 cm;
— Voliges : 0,8 à 1,5 × 25 cm à 30 cm.

Longueur : 4 m environ.

Calcul de charpentes.

Pour calculer les efforts dans les différentes parties d'une charpente, il faut faire intervenir les éléments suivants :

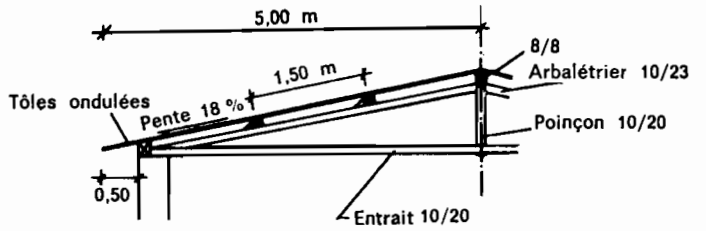
— Le poids de la couverture;
— Le poids propre de la charpente;
— La surcharge (vents).

Le tableau suivant, qui indique les charges portantes pour les différents équarrissages des pannes, permet de trouver immédiatement l'équarrissage le plus convenable :

Equarrissage des pannes (cm)	Charge portante en kg par mètre courant de panne pour des portées de				
	1,20 m	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m
6 × 6	100	64	36	—	—
8 × 8	248	159	90	57	—
8 × 15	537	344	194	123	86

Exemple de ferme pour couverture en tôle :

Les tôles reposent sur les pannes; portée entre fermes : 3 m.



Charges réelles et équarrissage des pannes (à écartement de 1,50 m) pour une couverture en tôle ondulée :

Poids des matériaux au mètre carré y compris les pannes 10 kg/m²
Surcharge du vent ..... 45 kg/m²

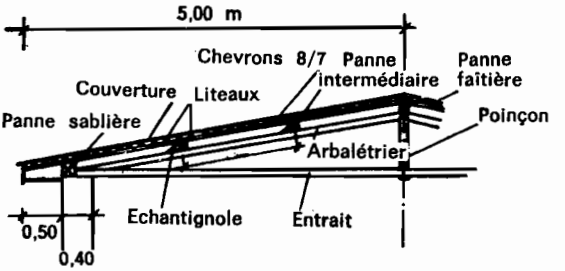
Charge totale au mètre carré ..... 55 kg/m²

Charge de la panne par mètre courant : 55 kg/m² × 1,5 m = 82,5 kg/m

En se reportant au tableau de la page précédente (colonne 1,5 m), on constate qu'il faut des pannes de 8 × 8.

Exemple de ferme pour couverture en tuile :

Portée entre fermes : 3 m. Dans la pratique prendre une pente nettement supérieure (cf. p. 320).



Portée entre pannes de	Equarrissage des chevrons
1 m à 1,50	cm 8/6
1,50 à 2,00	8/7
2,00 à 2,50	8/8
2,50 à 3,00	8/15

1.2. Charpentes métalliques (voir schéma page 315).

Fers servant à la construction des charpentes métalliques :

- **Fers plats.**

  Largeur ..... de 30 à 80 mm
  Epaisseur ..... de 4 à 10 mm

- **Fers cornières - Fers L.**

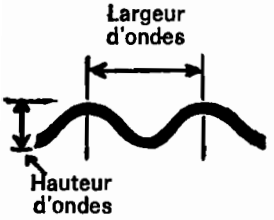
  16 × 16 × 2,5 à 60 × 60 × 6.
  Longueur : barres de 6 m.

NOTE. — On utilise aussi les fers à T et surtout les fers à I (IPN) pour les pannes : IPN 80 pour travée de moins de 5 m, IPN 100 pour travée de 5 m.

2. MATERIAUX DE COUVERTURE

La couverture des hangars se fait généralement en tôle ondulée galvanisée, en tôle d'aluminium ou en amiante-ciment. Celle-ci est plus fragile et plus lourde que la tôle.

TOLES ONDULEES GALVANISEES
(d'après norme AFNOR A 46 320)



Longueur m	Largeur utile mm	Poids par feuille 11,5 ondes de 76 × 18 mm		
		0,50 mm kg	0,63 mm kg	0,75 mm kg
1,650	900	6,60	8,25	10,00
2,000	900	8	10,00	12,00
2,250	900	9	11,25	13,50
2,500	900	10	12,50	15,00
2,750	900	11	13,75	16,50
3,000	900	12	15,00	18,00

TOLES ONDULEES EN ALUMINIUM

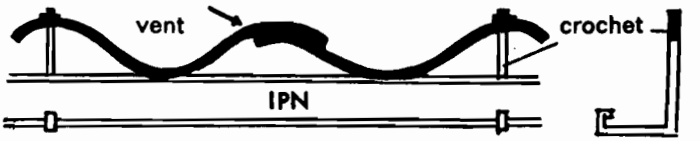
Largeur d'ondes mm	Hauteur d'ondes mm	Largeur totale mm	Epaisseur en mm et poids en kg/m de long	
63,5	12,7	660	mm	0,30 - 0,40 - 0,42 - 0,48
				0,50 - 0,56 - 0,60.
			kg/m	0,588 - 0,783 - 0,822 - 0,940
				0,979 - 1,096 - 1,175.
76,2	19,5	660	mm	0,30 - 0,40 - 0,42 - 0,48
				0,50 - 0,56 - 0,60 - 0,71.
			kg/m	0,604 - 0,805 - 0,845 - 0,966
				1,008 - 1,126 - 1,207 - 1,430

Largeur d'ondes mm	Hauteur d'ondes mm	Largeur totale mm	Epaisseur en mm et poids en kg/m de long	
76,2	19,5	813	mm	0,40 - 0,42 - 0,48 - 0,50 0,56 - 0,60 - 0,71.
			kg/m	0,991 - 1,040 - 1,189 - 1,238 1,386 - 1,486 - 1,758.
130	30	850	mm	0,8 - 0,9 - 1 - 1,2.
			kg/m	2,041 - 2,296 - 2,551 - 3,061.
130	30	915	mm	0,8 - 0,9 - 1 - 1,2.
			kg/m	2,186 - 2,462 - 2,735 - 3,282
130	30	980	mm	0,8 - 0,9 - 1 - 1,2.
			kg/m	2,355 - 2,649 - 2,943 - 3,532.
130	30	1 040	mm	0,8 - 0,9 - 1 - 1,2.
			kg/m	2,500 - 2,812 - 3,125 - 3,750.

TOLES D'AMIANTE-CIMENT

Dimensions L × l (m)	Epaisseur mm	Poids (kg/m²)
1,25 × 0,92 1,525 × 0,92 2,5 × 0,92	6,5	16

Fixation directement sur IPN.



Fixation sur bois.



Crochets, écrous et rondelles sont en acier galvanisé. Pour éviter les effets de pile sur les tôles aluminium, des rondelles spéciales doivent être employées suivant les spécifications du constructeur.

PENTES MINIMUM

Tuiles	0,50-0,70
Tôles ondulées	0,30
Aluminium	0,05-0,07

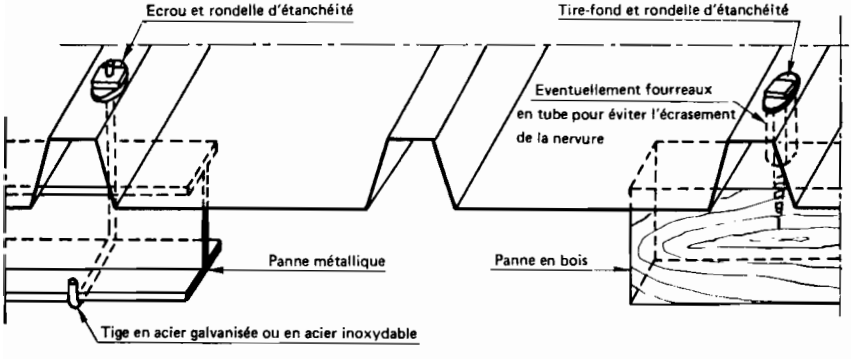
BACS AUTOPORTANTS EN TOLE GALVANISEE OU EN TOLE D'ALUMINIUM

Ecartement maximum des appuis

charge totale	épaisseur tôle			
	5/10 mm	63/100 mm	75/100 mm	10/10 mm
(kg/m²)	(m)			
100	2	2,20	2,40	2,70
150	1,60	1,80	1,95	2,20

Accessoires

Des accessoires de pose, en tôle galvanisée (faîtages, bandeaux de rive et d'égoût, etc.), complètent les panneaux qui peuvent être fixés sur charpente en bois, à l'aide de tire-fond galvanisés et de rondelles d'étanchéité ou sur charpente métallique, au moyen de crochets galvanisés et de rondelles d'étanchéité.



Les bacs en tôle d'aluminium ont des caractéristiques identiques mais ils ont un coefficient d'isolation supérieur.

XI

LOGEMENT DES ANIMAUX

(d'après document IEMVT)

1. ETABLES

1.1. Principes généraux de construction

— Qualité d'une étable.

Elle doit :

— réaliser une hygiène satisfaisante;
— permettre une productivité élevée de la main-d'œuvre;
— assurer l'utilisation intégrale des matières alimentaires et la récupération complète des fumiers et purins.

— Conditions d'hygiène.

— Température : maintien d'une température optimale.
— Hygrométrie : l'air ne doit être ni trop humide ni trop sec.

La réalisation de ces deux conditions est obtenue principalement par la ventilation de l'étable.

— Cubage et renouvellement d'air : chaque animal doit disposer de 20 à 25 m³ d'air, dont le renouvellement doit être assuré cinq fois par heure lorsque l'étable est close.
— Eclairement : la lumière excessive doit être évitée. On y parviendra en prévoyant des auvents.

— Orientation : elle varie en fonction des données climatiques locales. Il faut tenir compte du soleil, des vents dominants, mais surtout, en pays tropical, de la direction des pluies.

— Nature du terrain : choisir un emplacement sain et légèrement surélevé.

— Sol de l'étable :

- imperméable,
- facile à nettoyer et désinfecter,
- résistant,
- non glissant,
- assurant l'écoulement du purin, des eaux de lavage (pente de 1 à 2 %).

Nature : terre battue ou compactée.
béton de cailloux revêtu d'une chape de ciment (25 cm).

— Murs de l'étable

- terre ou banco : mélange à base d'argile, de latérite, de paille sèche de balle;
- terre et ciment ou banco amélioré;
- pierres de latérite ou de roches éruptives (basalte);
- ciment mélangé avec sable et gravillon (béton);

- bois utilisé surtout pour les cloisonnements internes, en région guinéenne où il est abondant. Doit résister aux termites.

— **Charpente de l'étable**

- bois : très employé, doit être traité avec des goudrons ou des produits dérivés ou des badigeons antitermites;
- fer : utilisé en zone sahélienne où le bois est rare. Solide et propre mais doit être entretenu régulièrement (minium de plomb, peinture antirouille).

— **Toiture de l'étable**

- chaume ou paille tressée sont de très bons isolants, très économiques, mais doivent être refaits périodiquement;
- tuile : bon isolant, mais risque de détérioration au moment des tornades;
- tôle ondulée en fer galvanisé ou en aluminium; cette dernière matière possède un très bon pouvoir réflecteur des radiations solaires;
- bacs autoporteurs en tôle galvanisée ou en aluminium, peuvent s'établir à la longueur demandée, s'étendent sur toute une pente du toit sans solution de continuité permettant ainsi un allègement de la charpente.

1.2. Types d'étables

1.2.1. — ETABLE A STABULATION ENTRAVEE

Bâtiment dans lequel chaque bovin occupe une place déterminée, conçu pour le repos, l'alimentation, la traite, et divers soins.

— **Pente du sol**

- rigole longitudinale, parallèle au grand axe de l'étable : 1 à 2 %
- pente des stalles vers la rigole longitudinale : 2 %
- pente du couloir de service vers la rigole longitudinale : 1 %.

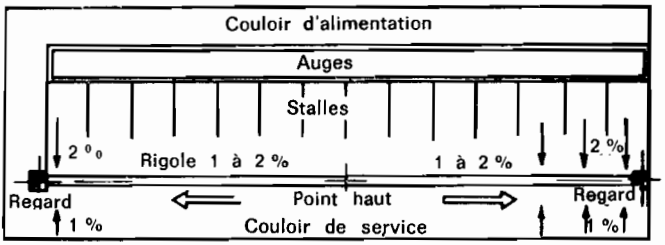


Schéma de la pente du sol
dans une étable

— **Plan de l'étable**

Une étable comporte les parties suivantes :

- emplacements réservés aux animaux, ou stalles.

- la longueur de la stalle est égale à la longueur moyenne du bétail, du chignon à la pointe des ischiums + 0,10 m, soit 2 à 2,50 m.
- la largeur de la stalle varie, selon qu'il s'agit de petite ou de grande race, de 1 m à 1,20 m. Les animaux doivent être suffisamment serrés pour ne pas pouvoir se coucher en travers de la stalle.
- Les couloirs :

L'étable la plus courante est du type à deux rangs dos à dos avec couloir de service au milieu et couloirs d'alimentation latéraux :

- largeur du couloir de service : 1,50 m.
- largeur des couloirs d'alimentation : 1,30 m.
- L'auge :
- sa capacité doit être de 250 litres par animal
- sa longueur est égale à la largeur de la stalle
- sa largeur est de 0,70 m à 0,60 m
- sa largeur au sol au bord postérieur (côté couloir de service) : 0,80 m
- la hauteur au sol du bord antérieur : 0,40 m
- Les couvertures :

Il s'agit essentiellement des portes, les murs et cloisons n'étant pas en général, sous les tropiques, élevés jusqu'au plafond pour ménager une aération maximale.

Les portes servent au passage du personnel et des animaux et doivent être conçues pour permettre l'apport facile des aliments et des litières, ainsi que l'enlèvement du fumier :

- largeur : 1,50 m à 2 m.
- hauteur : 2,20 m à 2,40 m.

Les portes de service destinées au seul passage du personnel auront 0,80 m de large sur 2,20 m de haut.

Les portes doivent :

- s'ouvrir de dedans en dehors
- être à 2 battants
- pouvoir se rabattre complètement contre le mur
- ne présenter aucune saillie.

1.2.2. — ETABLE A STABULATION LIBRE

Bâtiment ouvert sur des enclos dans lesquels les bovins sont en liberté et auquel les animaux peuvent accéder pour s'alimenter et se reposer.

Caractéristiques

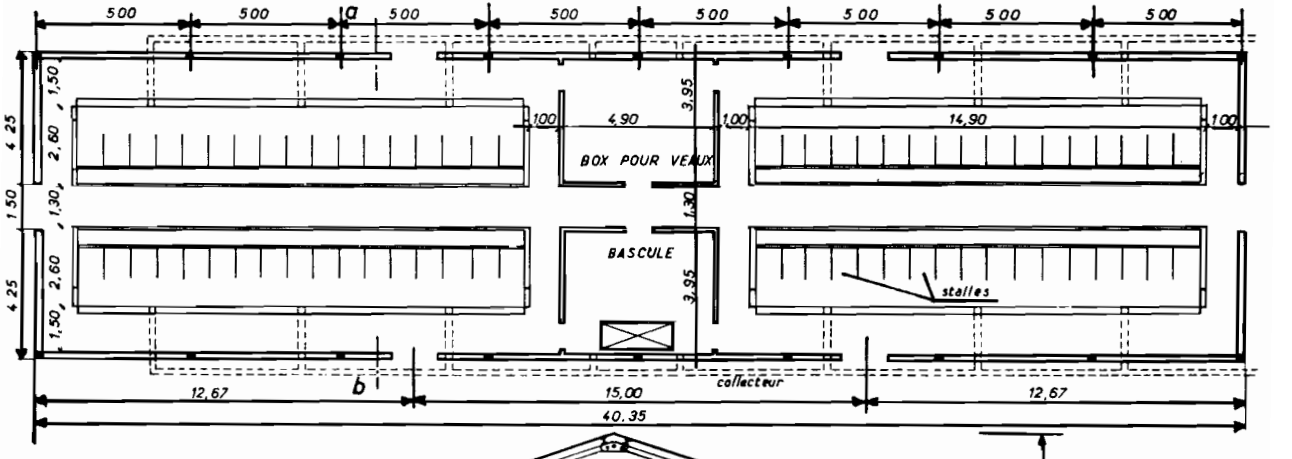
— Découpage de l'habitat en trois parties

- Aire d'alimentation, couverte mais non paillée, car elle reçoit la majeure partie des déjections. Nettoyage au jet d'eau si possible sinon à la pelle.
- Aire de repos couverte et paillée, qui reste propre.
- Aire d'exercice non couverte, constituée par des enclos.

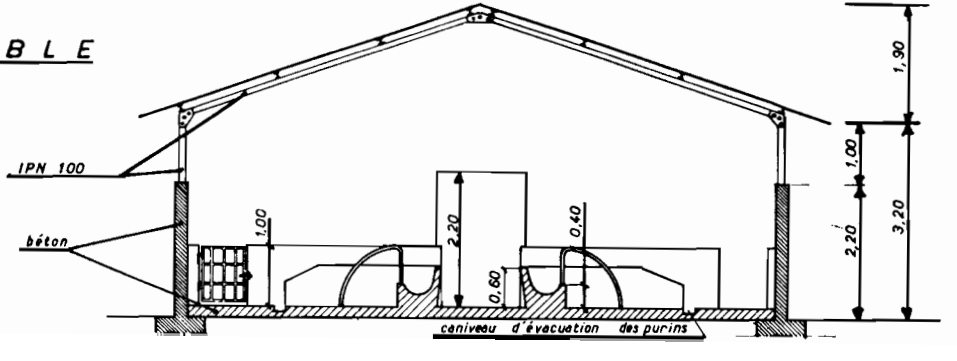
— Accumulation de paille sur l'aire de repos et évacuation du fumier une ou deux fois par an.

République de CÔTE d'IVOIRE

CENTRE de MINANKRO



ETABLE

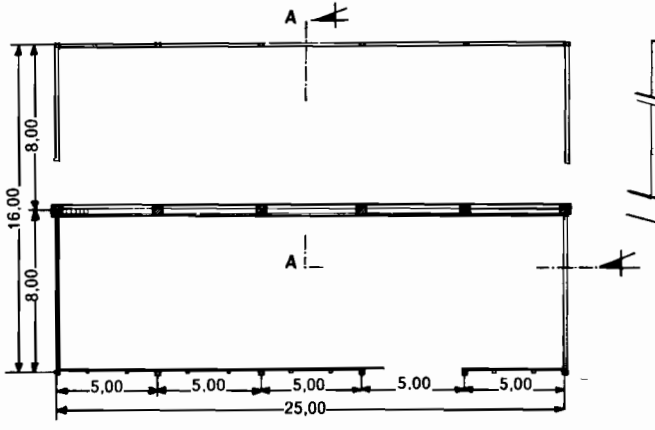


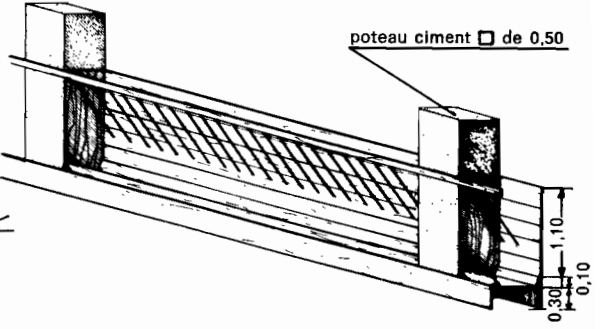
coupe : ab

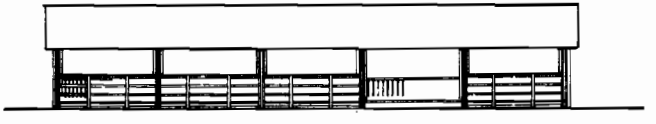
I.E.M.V.T. 1967

ÉTABLE A STABULATION LIBRE DE BINGERVILLE

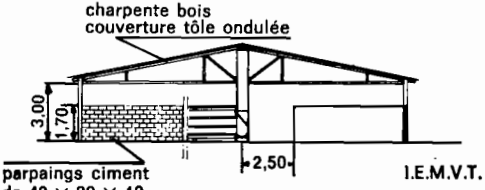
République de Côte d'Ivoire



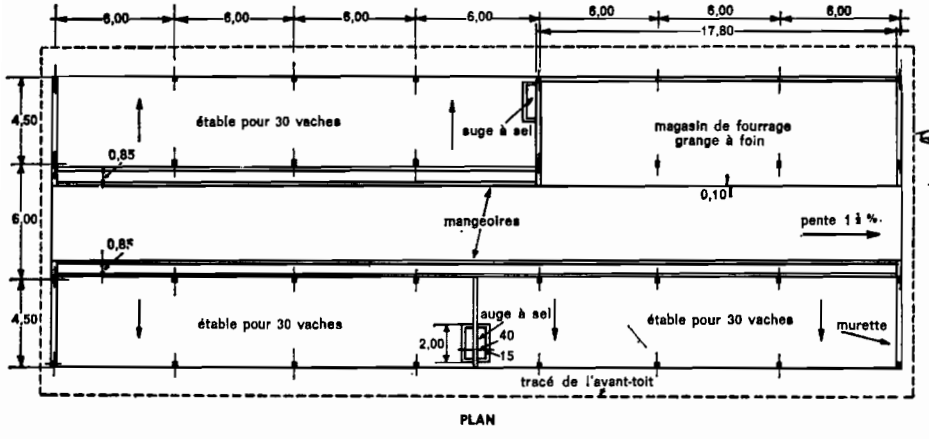




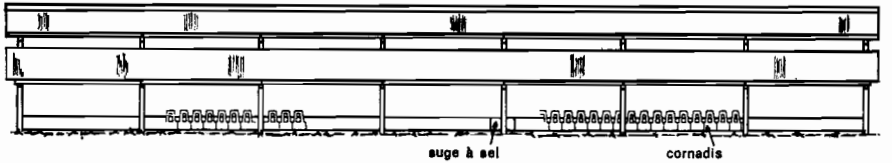
COUPE AA



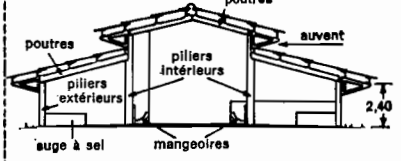
I.E.M.V.T. 1967



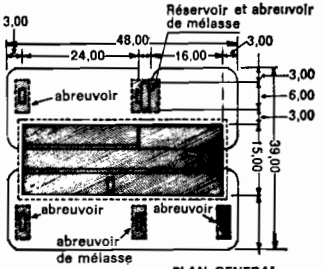
PLAN



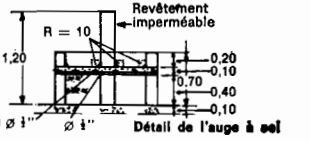
CENTRE D'ELEVAGE Etable



SECTION



PLAN GENERAL



Détail de l'auge à sel

— **Stockage de l'aliment grossier et de la paille sous le même bâtiment que le bétail.**

Facteurs limitants en pays tropical

- Nécessité d'avoir à sa disposition une grande quantité de paille.
- Niveau actuel relativement bas de la production laitière ne permettant pas d'envisager la stabulation libre avec salle annexe de traite. On réservera ce type d'étable pour la production de la viande.

Orientation

- Dans les régions chaudes, la façade ouverte du hangar est exposée au nord, les côtés fermés disposés face aux tornades.

Surface du bâtiment

- Aire de couchage (couverte) 5 m² par bovin.
- Aire d'exercice (non couverte) 6 m² par bovin.

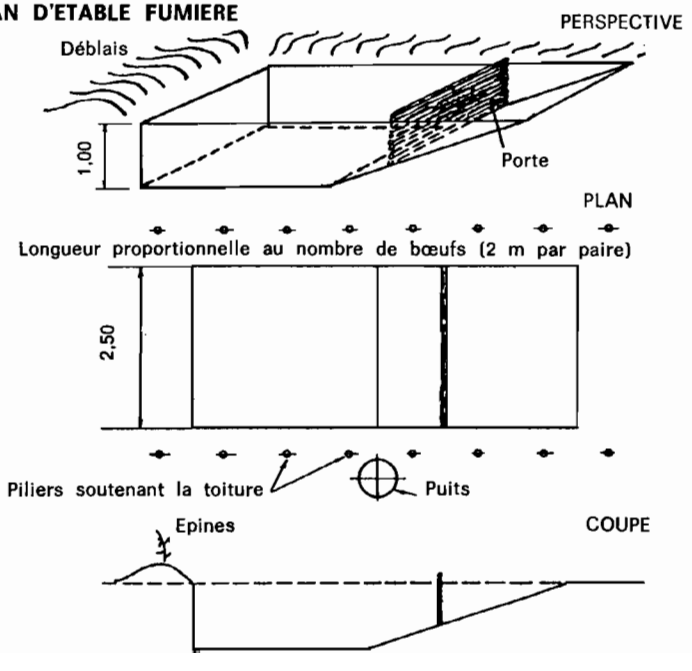
Locaux annexes

- Box à veaux, box à taureaux, salle de préparation et de stockage des aliments concentrés.

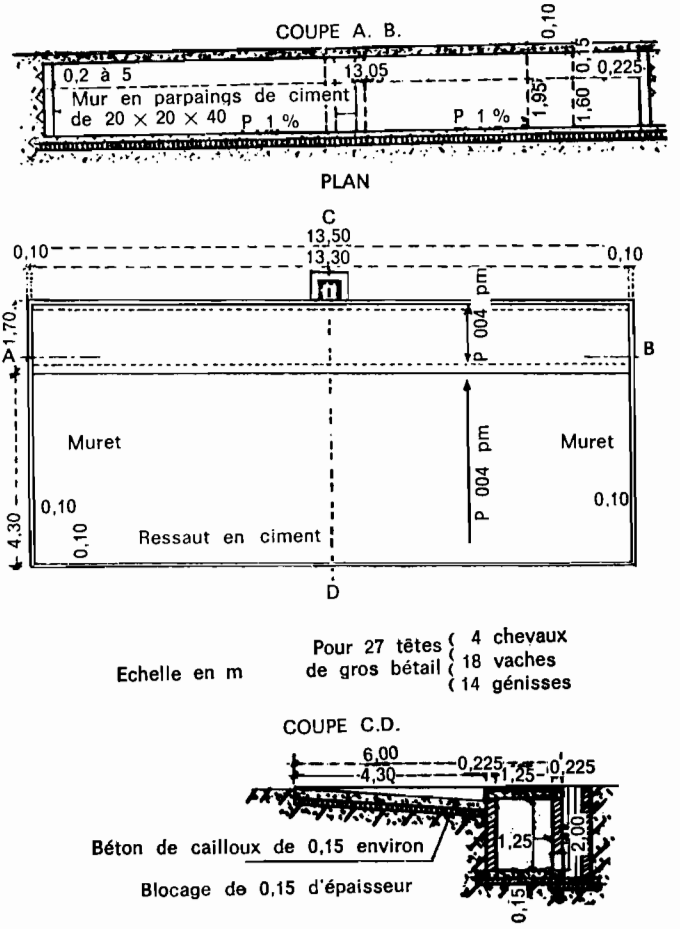
1.2.3. — ETABLE FUMIERE

Dans ce bâtiment, de forme simple, le fumier restant en place est recouvert chaque jour par une couche de litière.

PLAN D'ETABLE FUMIERE



FUMIERE ET FOSSE A PURIN



L'évacuation se fait une fois ou deux par an. Aucune déjection n'est perdue, le fumier bien tassé, les manutentions réduites à leur minimum.

— Fosse de 2,50 m de large (pour faciliter la couverture) sur une longueur proportionnelle au nombre de bœufs, en comptant 2 m de long par paire de bœufs.

— Profondeur : 1 mètre avec déblais rejetés sur les bords formant talus.
— Plan incliné sur une largeur pour faciliter l'entrée et la sortie du bétail.
— Epines plantées sur le déblai. Porte en rondins.
— Fond de la fosse : apport de 5 à 7 cm de latérite damée sur une couche d'argile de 10 à 25 cm pour éviter une trop grande infiltration du purin. Selon la nature du sol les côtés pourront être maçonnés avec des blocs de latérite.
— Couverture avec fourches et poteaux de bois recouverts de seccos ou de chaume.
— Puits foré à proximité, avec un seau et une corde pour arrosage du fumier. Proscrire absolument cette eau pour l'abreuvement du bétail.

2. PORCHERIES

— 2 Types :

Porcheries d'élevage et porcheries d'engraissement. Nous donnons ici le plan d'une porcherie d'élevage.

— Loges :

Les dimensions des loges doivent permettre à l'animal adulte de se mouvoir librement, le côté (ou la largeur dans le cas rectangulaire) étant plus grand que la longueur de l'animal.

Pour une truie avec ses petits, il faut prévoir environ 8 m² (1) 2,85 × 2,8 (voir schéma). Entre 2 loges de mères on prévoira une loge munie d'une séparation amovible à l'usage des porcelets qui auront accès à leur mère par une trappe pratiquée dans la cloison (voir schéma page suivante).

— Cour :

Chaque loge communique avec une cour (2).

— Couloir :

Les loges sont disposées de part et d'autre du couloir central de 1,85 m de largeur.

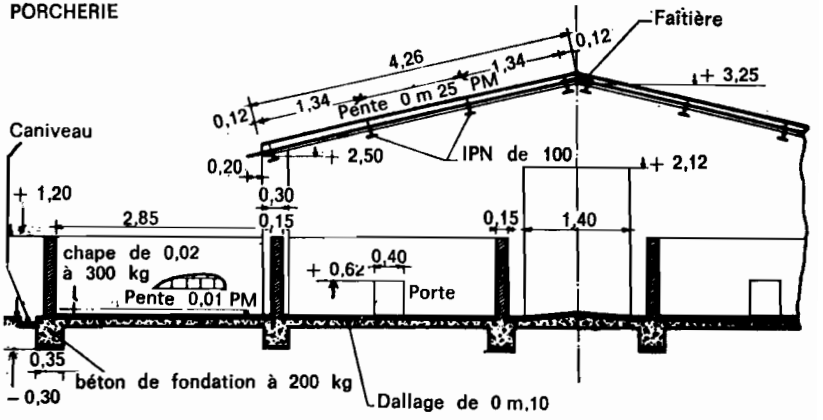
— Portes :

Les portes des loges, de 0,90 m de largeur, s'ouvrent sur le couloir.

---

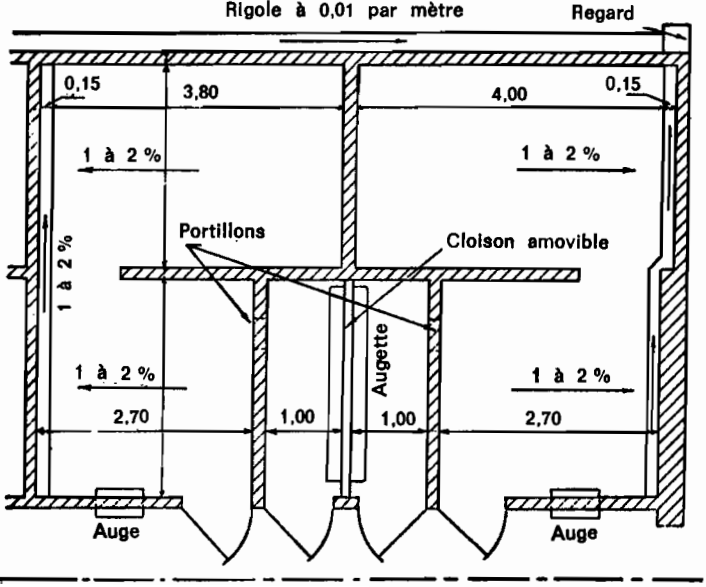
(1) Pour les porcheries d'engraissement on retiendra que la surface de case à réserver par animal est de 0,75 à 1,2 m2 jusqu'à 50 kg et 1 à 1,5 m² de 50 à 100 kg.
(2) En région chaude, on pourra utilement prévoir une baignoire à laquelle les animaux auront librement et spontanément accès.

PORCHERIE



PLAN

ELEMENT DE PORCHERIE D'ELEVAGE



— **Cloisons :**

Les cloisons de séparation entre les loges ont une hauteur de 1,20 m (1,40 m pour le verrat).

— **Auges :**

Dimensions : longueur 0,60 m, largeur 0,35 m à 0,40 m, profondeur 0,20 m.

— **Pentes :**

Les porcs devant rester au sec, les loges auront une pente permettant un écoulement facile des urines vers le caniveau; 0,05 par mètre. Pente des caniveaux 1 à 2 p. 100.

— **Aération :**

Dans les pays chauds, les porcheries seront largement ouvertes, l'air circulant librement entre le sommet des cloisons et le bas de la toiture.

— **Toiture :**

En aluminium, en fibrociment ou en paille. Hauteur sous entrait 2,70 m.

— **Orientation :**

Dépendra essentiellement de la direction des pluies et des vents dominants.

3. BERGERIES

L'amélioration du logement des petits ruminants ne peut être réalisée que dans la zone sédentaire.

Les petits ruminants s'accommodent très mal du confinement, du manque de liberté, du froid, de l'humidité.

— **Plan d'une bergerie**

Type : hangar largement ouvert.

Place nécessaire :

mère et agneau	0,90 m^2 à 1,20 m^2
antenais	0,50 m^2 à 0,60 m^2
adulte	0,60 m^2 à 0,80 m^2
bélier (séparé)	1,75 m^2 à 2 m^2

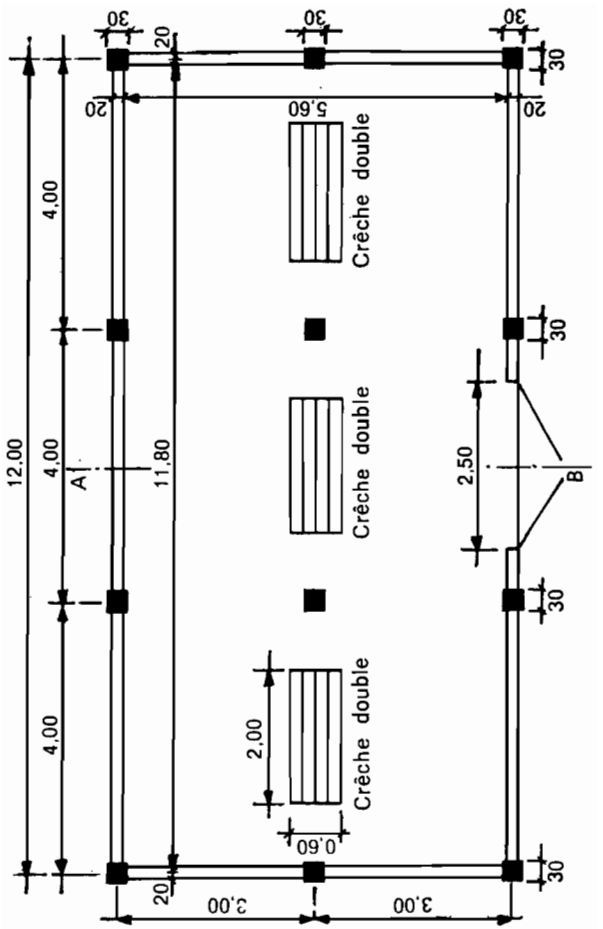
Mur périphérique 1,20 m de haut, avec porte permettant le passage d'une charrette (2,50 m de large).

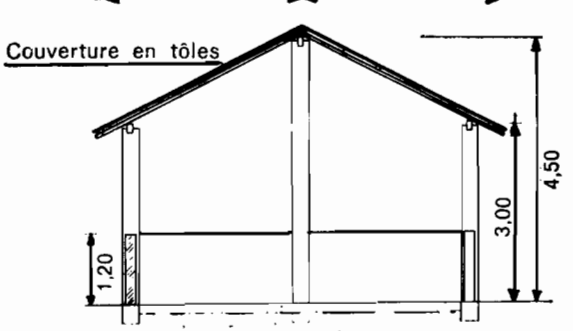
Sol terre battue; les sols en béton sont à déconseiller.

La litière peut être permanente ; on la recouvre périodiquement de paille fraîche et on enlève le fumier une ou deux fois par an.

Equipement

Les aliments sont distribués dans des râteliers ou crèches et des mangeoires.





COUPE A.B.

BERGERIE POUR 80 MOUTONS

Crèches :

longueur : agneau 0,20 m
antenais 0,30 m
adulte 0,40 m
hauteur : 0,80 m à 1 m

Mangeoires :

hauteur : chèvres 0,30 m
moutons 0,40 m

Les crèches sont, soit disposées sur le sol, soit suspendues au plafond par des chaînes.

Dans le calcul de la surface de la bergerie disponible pour les animaux, on doit déduire la surface occupée par les crèches et les mangeoires.

4. PARCS DE VACCINATION DU BETAIL BOVIN

4.1. Principes

Les parcs doivent permettre un accroissement du nombre des interventions avec moins de fatigue et de risques d'accident pour le personnel traitant.

Ils doivent :

- être d'accès facile pour le bétail ;
- permettre des interventions aisées pour le personnel ;
- être solides, résister à la poussée des animaux ;
- être peu coûteux d'entretien, facilement réparables.

4.2. Disposition générale.

Un parc comprend deux parties :

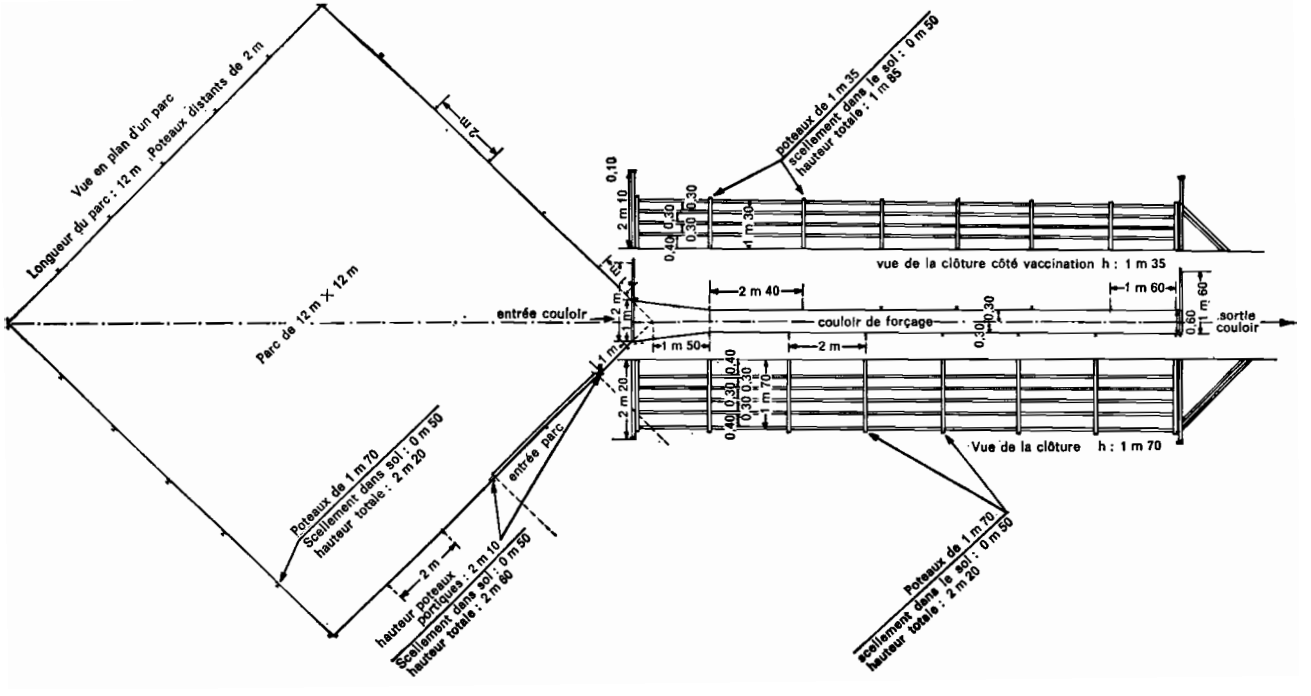
- un parc d'attente ;
- un couloir de vaccination dans lequel les animaux sont immobilisés les uns derrière les autres pour les interventions (vaccinations, déparasitages).

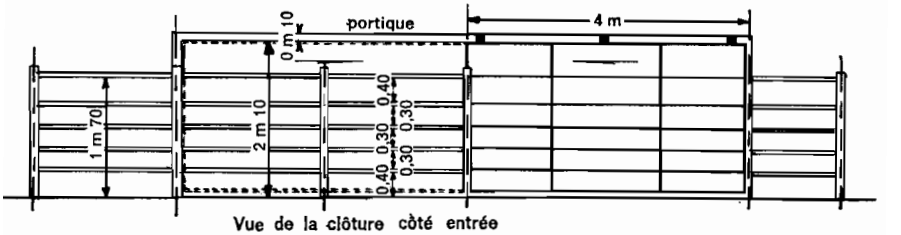
Le parc d'attente a des dimensions dépendant de la taille moyenne des troupeaux de la région. On préconise 12 m × 12 m en général. Hauteur de la clôture de 1,50 m à 1,80 m.

Couloir de vaccination :

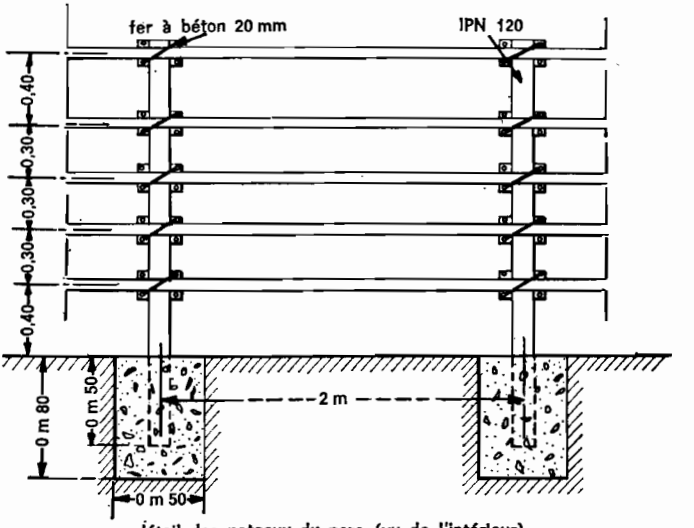
- longueur : 14 m à 20 m
- largeur : taurin 0,55 m
  zébu 0,60 m à 0,70 m
- hauteur variable suivant le type de bétail :
  taurin N'dama : 1,20 m
  zébu Gobra : 1,40 m
  zébu M'bororo : 1,60 m

On peut aussi, pour assurer une meilleure contention du bétail, donner au couloir une section transversale trapézoïdale :


Vue en plan d'un parc
Longueur du parc : 12 m Poteaux distants de 2 m
2 m
Parc de 12 m × 12 m
entrée couloir
Poteaux de 1 m 70
Scellement dans sol : 0 m 50
hauteur totale : 2 m 20
entrée parc
2 m
hauteur poteaux portiques : 2 m 10
Scellement dans sol : 0 m 50
hauteur totale : 2 m 60
poteaux de 1 m 35
scellement dans le sol : 0 m 50
hauteur totale : 1 m 85
0,10
2 m 10
0,30
0,40
0,30
1 m 30
vue de la clôture côté vaccination h : 1 m 35
2 m 40
1 m 60
couloir de forçage
sortie couloir
1 m 50
2 m
0,30
0,60
1 m 60
2 m 20
0,40
0,30
0,30
1 m 70
Vue de la clôture h : 1 m 70
Poteaux de 1 m 70
scellement dans le sol : 0 m 50
hauteur totale : 2 m 20



Vue de la clôture côté entrée



détail des poteaux du parc (vu de l'intérieur)

- largeur en haut : 0,70 m
  en bas : 0,50 m

Le couloir se raccorde au parc d'attente par un évasement de 1 m à la base et de 2 m de longueur.

Portes

Entrée des animaux dans le parc d'attente par une porte de 2 m à 4 m de large placée dans l'angle formé par un côté du parc et un côté du couloir de vaccination.

A chaque extrémité du couloir est prévue une porte qui permet de bloquer à l'intérieur un groupe d'animaux serrés les uns derrière les autres sans possibilité de bouger.

4.3. Construction (Type de parc métallique).

Les parcs peuvent être réalisés en bois, en maçonnerie de latérite, en béton armé, en fer. Il y a des solutions mixtes : fer et bois.

Les parcs métalliques sont installés dans les régions dépourvues à la fois de bois et dans lesquelles le ciment est d'un prix de revient élevé.

Les côtés du parc et du couloir comprennent des poteaux en IPN 120 (IPN 140 pour les angles) sur lesquels sont fixés des tubes en acier étiré sans soudure 50/60, par un ensemble de plaques de tôle de 1 cm d'épaisseur et de brides en fer de 20 mm maintenues par blocage avec 4 écrous.

Les poteaux des deux côtés du couloir ne sont pas en vis-à-vis, mais décalés de l'ordre de 0,40 m en raison du rétrécissement occasionné par les brides de fixation des tubes sur les IPN.

Les poteaux sont scellés dans des massifs en béton de section carrée de 0,50 m et de 0,80 m de hauteur.

Portes

La fermeture du parc et du couloir est assurée par un jeu de 3 portes, réalisées en fer en U et en tubes, munies de galets de 50 mm de diamètre roulant sur un portique de fer en U de 2,10 m de hauteur.

XII

LOGEMENTS DES RECOLTES ET MATERIELS

1. LES HANGARS

1.1. Dimensions

Les dimensions que l'on peut donner à des hangars sont très variables et ils peuvent être exécutés à la demande. Mais du point de vue prix de revient, il est préférable d'utiliser des dimensions

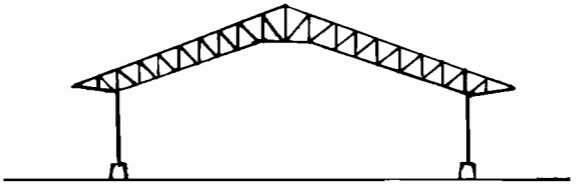
que l'on trouve couramment en éléments standardisés dans le commerce :

— Largeur des fermes 10 m
— Longueur entre travées 5 m
— Hauteur sous entrait 3,5 m à 4,5 m

Ce qui donnera des dimensions de hangar telles que (en mètres) largeur × longueur :

$$10 \times 5,\ 10 \times 10,\ 10 \times 15,\ 10 \times 20,\ \text{etc...}$$

Ces dimensions ne sont pas limitées, c'est pourquoi il est bon de prévoir, lors de l'implantation d'un hangar, une place suffisante pour pouvoir y ajouter ultérieurement une ou plusieurs travées.



Hangar type « Agricole »

1.2. Toiture

La toiture d'un hangar peut être à une ou deux pentes (27 à 30 %). Pratiquement l'avantage du toit à une pente est l'économie que l'on peut réaliser et la simplification qui en résulte sur le drainage et l'évacuation des eaux de pluies.

1.3. Appentis

L'appentis est accolé en long pan ou en pignon au hangar. Sa largeur sera fonction de la hauteur minimale que l'on voudra conserver sous la charpente, la pente moyenne d'une toiture étant de 30 %.

1.4. Auvents

Les longs pans des toitures peuvent être prolongés par des auvents qui seront prévus lors de la commande du hangar.

1.5. Orientation

Il faudra tenir compte de la direction générale de la pluie pour implanter le hangar. La partie exposée doit être soit un pignon, soit un long pan bardé.

1.6. Capacité

CAPACITE DES HANGARS COURANTS A RECOLTES

Portée des fermes (m)	Capacité totale (par travée de 5 m) jusqu'au faîtage (m^3)
8	260
10	350
12	450
14	550
16	650

NOTA : Cette capacité ne tient pas compte des aires de circulation, la capacité utile ou pratique est d'environ 25 % plus faible.

HANGARS POUR MISE A L'ABRI DES DIVERS MATERIELS

Matériels	Surfaces nécessaires (m^2)
Brabant	2 à 3
Brabant double	3 à 5
Cultivateur	5
Distributeur d'engrais	6 à 10
Houe à cheval	2
Pulvériseur à disques	6 à 8
Rouleau avec flèche	6
Déchaumeuse	3 à 8
Faucheuse	5 à 6
Rateau à cheval	6 à 8
Rateau faneur	9 à 11
Faneuse à fourches	6 à 8
Tombereau	8 à 10
Chariot	8
Charrette	10 à 12
Grand chariot	15 à 16
Remorque	10 à 15
Tonne à purin	6 à 9
Tracteurs	6 à 12
Camions	15 à 20
Voitures	10 à 12

2. SECHAGE

2.1. Définitions

— **Définition usuelle de l'humidité des grains :**

$$H\ \% = \frac{\text{Poids d'eau}}{\text{Poids matière sèche} + \text{Poids d'eau}}$$

— **Quantité d'eau (en kg) à enlever à 100 kg de produit humide** pour le sécher de l'humidité initiale Hi à l'humidité finale Hf :

$$E_{PH} = \frac{100\ (Hi - Hf)}{100 - Hf}$$

Remarque : après séchage les 100 kg de produit initial ne pèseront plus que $100 - E_{PH}$.

— **Quantité d'eau (en kg) qu'il a fallu enlever à 100 kg de produit séché** pour abaisser son humidité de Hi à Hf.

$$E_{PS} = \frac{100\ (Hi - Hf)}{100 - Hi}$$

Remarque : avant séchage, les 100 kg de produit final pesaient : $100 + E_{PS}$.

— **Puissance évaporatoire d'un séchoir**

L'expression la plus précise de la puissance d'un séchoir est la quantité d'eau qu'il est en mesure d'évacuer par unité de temps : kilogrammes d'eau/heure.

— **Rendement évaporatoire d'un séchoir**

$$R = \frac{\text{Energie calorifique fournie (en kilocalories/heure)}}{\text{Puissance évaporatoire (en kilo d'eau/heure)}}$$

2.2. Dosage de l'humidité des grains

Les humidimètres les plus employés actuellement sont des appareils électriques, qui mesurent la variation, en fonction de l'humidité, des caractéristiques électriques des graines.

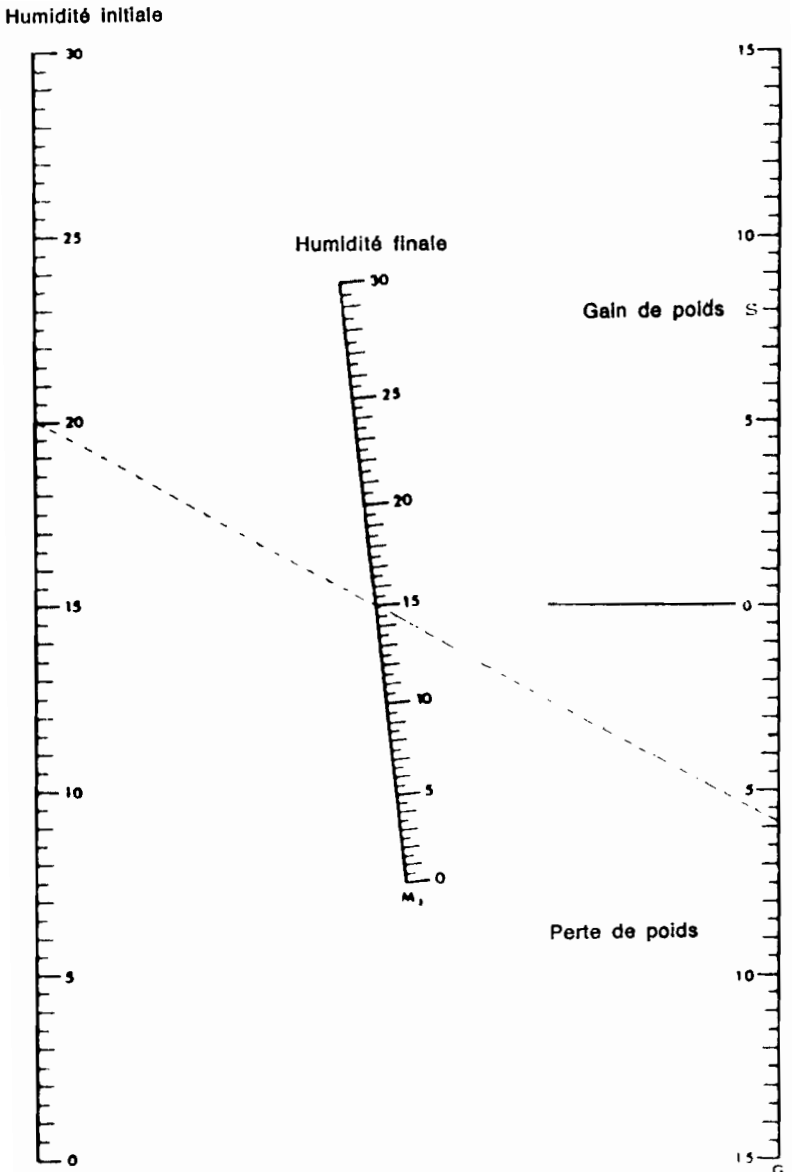
D'emploi simple et rapide, ces appareils ne peuvent fournir une mesure correcte si les points suivants ne sont pas respectés :

— **Propreté de l'échantillon.**

L'étalonnage est réalisé avec des grains entiers et propres. Il existe des nettoyeurs de laboratoire pour le nettoyage des échantillons avant le dosage de l'humidité.

— **Température.**

Les humidimètres sont étalonnés à 20 °C. Pour chaque degré d'écart avec la température d'étalonnage, une correction de 0,1 % environ d'humidité, en plus ou en moins selon les appareils, doit être apportée à la lecture. Certains humidimètres sont équipés d'une correction automatique de température.



Détermination de la perte de poids d'eau au cours du séchage.

Principaux types de séchoirs à grains

NOM	PRINCIPE	GAMME DE PUISSANCE	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Séchoir statique	Grain immobile et sous forte épaisseur (50 cm) traversé par le courant d'air chaud	20 t de maïs séchés de 38 % à 15 % en 20 heures	— Simple et polyvalent — Possibilité de réaliser sur place la cellule de séchage — Achat limité au générateur d'air chaud	— Séchage hétérogène — Séchage lent — Manutentions importantes
Séchoirs discontinus à recirculation de grain	Le grain est recyclé de bas en haut plusieurs fois pendant le séchage. Principe généralement utilisé sur les séchoirs mobiles.	10 à 60 t de maïs grain séché de 35 % à 15 % en 6 à 9 heures	— Séchage rapide et homogène	— Infrastructures importantes autour du séchoir (électricité, remorques, etc...)
Cellule sécheuse	Séchage en couche très épaisse (4 m) en cellule de stockage avec recirculation lente du grain	50 à 250 t de maïs grain séché de 35 % à 15 % en 100 heures	— Investissement faible — Séchage homogène	— Séchage lent
Séchoirs continus verticaux	Séchage en couche mince (20 cm) de grain circulant de haut en bas	3 à 17 t de maïs grain séché de 35 % à 15 % par heure	— Séchage rapide — Bon rendement calorifique	— Planification rigoureuse des apports de grain
Séchoirs continus horizontaux ou inclinés	Séchage en couche épaisse (30 à 40 cm) de produit se déplaçant sur un tablier horizontal ou incliné	0,75 à 8,5 t de maïs grain séché de 35 % à 15 % par heure	— Matériel simple et polyvalent — Séchage homogène	

— **Poids de l'échantillon et remplissage de la capacité de mesure.**

Le poids de l'échantillon, indiqué par le constructeur, doit être scrupuleusement respecté. En l'absence de dispositif automatique de remplissage, introduire le grain doucement et le répartir uniformément en évitant les tassements ou les vibrations parasites.

— **Répartition de l'eau dans l'échantillon.**

Les appareils mesurant les caractéristiques électriques superficielles des grains, l'humidité de ceux-ci doit être homogène. En particulier les grains sortant d'un séchoir seront plus secs à la périphérie qu'à l'intérieur. L'homogénéisation demande une dizaine d'heures.

2.3. Rendements évaporatoires moyens

— Séchoir statique : 1 500-1 800 Kcal/kilo d'eau.
— Séchoir continu classique : 1 000-1 200 Kcal/kilo d'eau.
— Séchoir continu amélioré : 800-900 Kcal/kilo d'eau.

2.4. Pouvoir calorifique inférieur (PCI) des combustibles usuels

	P C I	P S
— Bois	3 420 Kcal/kg	—
— Rafles de maïs	4 500 Kcal/kg	200 kg/m³
— Charbon	7 000 Kcal/kg	—
— Graine de coton	4 000 Kcal/kg	250 kg/m³
— Coques de café	3 700 à 3 900 Kcal/kg	400 kg/m³
— Coques d'arachides	4 000 à 4 500 Kcal/kg	250 kg/m³
— Paille	3 000 Kcal/kg	160 kg/m³
— Bagasse à 50 % d'humidité	2 000 à 2 500 Kcal/kg	—
— Bagasse sèche	4 500 à 4 800 Kcal/kg	—
— Balle de riz	2 800 à 3 500 Kcal/kg	140 kg/m³
— Fuel oil domestique	10 150 Kcal/kg	0,83 kg/litre
— Fuel lourd	9 700 Kcal/kg	0,955 kg/litre
— Essence	7 500 Kcal/litre	—
— Gaz butane	28 500 Kcal/m³	2,4 kg/m³
— Gaz propane	22 000 Kcal/m³	1,991 kg/m³
— Gaz pauvre (gaz de gazogène)	1 000 Kcal/m³	—
— Gaz de fumier (60 % CH_4-40 % CO_2)	5 500 Kcal/m³	—
— Gaz de fumier lavé (100 % CH_4)	8 000 Kcal/m³	—

3. STOCKAGE

3.1. Facteurs de dégradation des stocks de grains

Facteurs du milieu : Température - Humidité - Composition de l'air.

Les graines et les micro-organismes qui en sont indissociables, sont des organismes vivants dont l'activité métabolique, synonyme de dégradation, est fonction des facteurs du milieu.

La vitesse de dégradation est mesurée par le dégagement de gaz carbonique par 100 g de matière sèche et par 24 heures.

En première approximation et dans les conditions usuelles, la vitesse de dégradation double, lorsque la température du produit augmente de 5 °C ou lorsque son humidité croît de 1,5 %. On recherchera donc, dans des conditions économiques acceptables, des températures basses et des humidités faibles.

L'humidité de sauvegarde généralement retenue est celle atteinte par la graine placée dans une atmosphère dont l'humidité relative est de 70 %. Au-dessous de cette humidité relative, la plupart des moisissures ne se développent pas.

Les processus de dégradation peuvent également être bloqués par une modification de la composition de l'atmosphère intergranulaire (enrichissement en CO_2 ou N_2).

Facteurs externes : Rongeurs et Insectes.

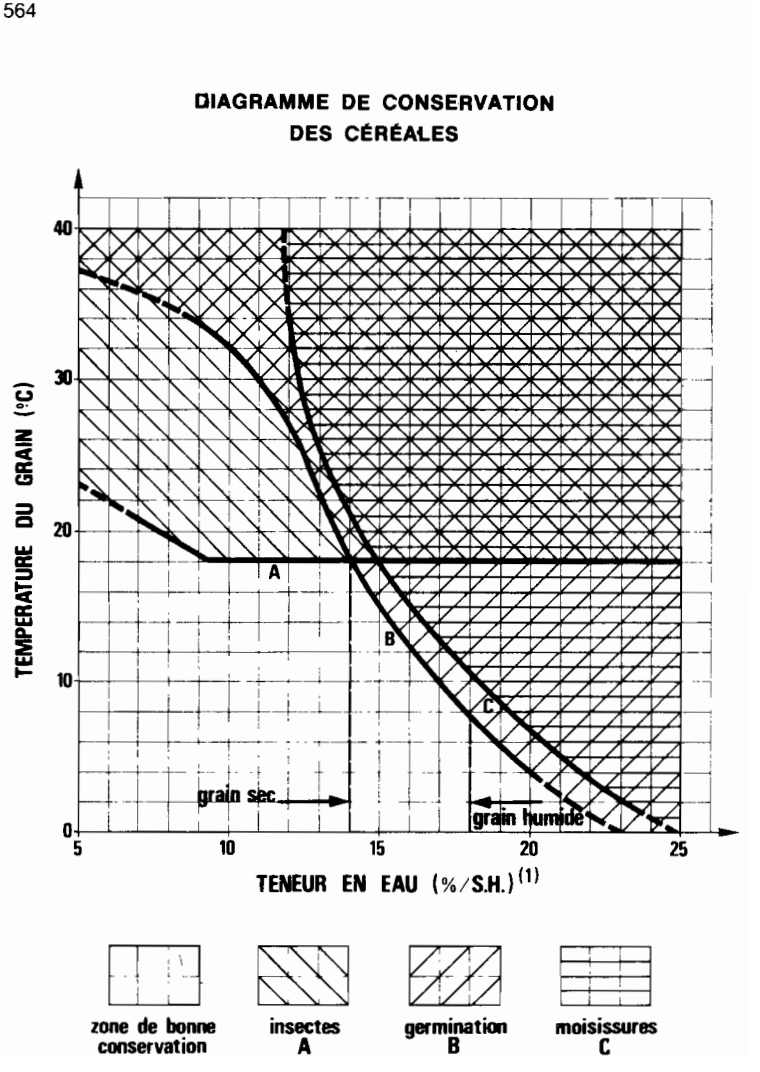
Humidités de sauvegarde recommandées pour le stockage des grains

— Haricots (en général)	14 %	— Blé	13 %
— Soja	13 %	— Cacao	7 %
— Arachide	7 %	— Café	13 %
— Maïs	13 %	— Coprah	7 %
— Paddy	13 %	— Noix de palme	5 %
— Sorgho	13 %	— Graines de coton	10 %
— Millet	15 %		

3.2. Principales techniques de stockage

Remarque : Le choix entre les techniques énumérées ci-après, est toujours un cas particulier qui doit tenir compte des contraintes suivantes :

— Nature des grains.
— Cadences d'apport.
— Humidité des grains.
— Présence de matières étrangères.
— Présence d'insectes.
— Quantité totale à stocker.
— Classement des lots.
— Durées de stockage.
— Conditions climatiques locales.
— Portance du sol.
— Coûts des matériaux rendus sur le site.
— Coût de la main-d'œuvre.
— Délai de réalisation, etc...


DIAGRAMME DE CONSERVATION
DES CÉRÉALES
TEMPERATURE DU GRAIN (°C)
40
30
20
10
0
5
10
15
20
25
TENEUR EN EAU (%/S.H.) (1)
A
B
C
grain sec
grain humide
zone de bonne conservation
insectes A
germination B
moisissures C

Eléments de comparaison Vrac - Sac

	STOCKAGE EN SACS EN MAGASIN	STOCKAGE EN VRAC EN SILO
Contrôle de la conservation	Contrôle de la périphérie des stocks	Contrôle de l'évolution de la température dans les stocks
Protection contre les insectes	Très difficile	Bonne
Protection contre les rongeurs	Très difficile	Bonne
Action sur les facteurs de milieu	Difficile et peu efficace	Possible et efficace, ventilation, herméticité, etc.
Débits de manutention	Faibles	Elevés
Coût d'investissement	Faible	Elevé
Personnel	Nombreux et faiblement qualifié	Peu nombreux et qualifié

3.3. Stockage en sacs en magasins

Recommandations générales pour la conception de magasins pour le stockage des sacs (surface supérieure à 200 m²) :

— Orientation : longueur dans le sens est-ouest.
— Rapport longueur × largeur = 2 × 1.
— Prévoir à l'intérieur une allée de 1 m de largeur le long des murs pour l'inspection des stocks.
— Hauteur utile minimale : 6 m.
— Niveau général du magasin + 1,20 m environ (avec quai de chargement au niveau des véhicules).
— Concession vaste et enclose autour du magasin. Accès aux portes possible en toute saison aux plus lourds camions.
— Protection des abords contre les eaux de ruissellement.
— Prévoir un local bien aéré à usage de bureau et une remise aérée pour les produits et les matériels de traitement.
— Prévoir une aire abritée des pluies pour le stockage transitoire de lots infestés.

Détails de construction :

— Sol avec barrière pare-vapeur et chape très résistante.
— Murs avec enduit lissé sur les 2 faces et peints en blanc. Revêtement à base de résine époxy pour l'étanchéification aux gaz des magasins fumigables.
— Toiture : débordement de 1/3 à 1/4 de la hauteur des murs.
— Eclairement naturel : 5 % de la surface du toit.

— Ouverture de ventilation : au faite des murs, sous le débordement du toit. Garniture avec grillage moustiquaire. Etanchéité soignée des fermetures contre les eaux de pluie.
— Portes : si possible à battants et bien ajustées (avec auvent de protection contre les pluies). Les petits rongeurs peuvent pénétrer par des orifices de plus de 7 mm de largeur.

Equipement des magasins

— Electricité avec prises.
— Manutention - diables (charge maxi 100 kg) à roues caoutchoutées
- bande transporteuse inclinée.
— Contrôles : bascules, sondes, balance, loupe, tamis, lampe, doseur d'humidité, sonde thermométrique.
— Conditionnement - nettoyeur-séparateur, peseur-ensacheur, couseuse.
— Désinsectisation - bâches, masques, gants, doseurs de fumigant, etc...
- appareil de pulvérisation
- appareil de nébulisation.

— **Volume spécifique moyen, de quelques denrées stockées en sacs**
— Sucre, pois, haricots, lentilles 1,3 m^3/t
— Blé, riz usiné, café, poudre de lait 1,6 m^3/t
— Maïs, sorgho, arachides décortiquées 1,8 m^3/t
— Farines de blé, de maïs, de poisson 2,1 m^3/t

3.4. Stockage en vrac

Choix entre cellules basses à fond plat et cellules hautes à fond incliné.

	CELLULES A FOND PLAT	CELLULES A FOND INCLINE
— Investissement	Faible	Elevé
— Manutention	Difficile - Vidange rarement totale	Aisée - Vidange gravitaire totale
— Surface du sol	Elevée	Faible
— Rotation du stock	Faible	Elevée

Matériaux de construction

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Bois et panneaux de particules	Résistant Bon isolant Parfois disponible sur place	— Hauteur généralement limitée à 5-6 m ; au-delà renforcements coûteux. — Attaqué par les termites.
Béton armé	— Durable sans entretien même en athmosphère corrosive (Marine). — Construction de grande hauteur (50 m). — Emploi de matériaux locaux. — Bonne isolation thermique.	— Poreux, permet des échanges de gaz et de vapeur avec l'extérieur. — Lourd-Fondations coûteuses en sol peu portant. — Mis en œuvre par des entreprises spécialisées.
Tôles ondulées boulonnées	— Cellules légères. — Montage facile et rapide.	— Matériau importé. — Mauvaise étanchéité aux gaz.
Tôles soudées	— Réalisation de cellules polygonales adjacentes permettant une utilisation optimum de la matière. — Emploi possible d'aciers « auto-patinables » n'exigeant aucun entretien. — Bonne étanchéité aux gaz.	— Matériaux généralement importés. — Montage par des soudeurs expérimentés.
Cellules en tôle sertie	— Réalisation rapide sur le site à partir des bobines de métal. — Bonne étanchéité aux gaz.	— Matériau importé.
Cellules rigides en polyester armé fibre de verre	— Etanche aux gaz et bon isolant thermique. — Entretien nul.	— Faible capacité actuelle des cellules (300 t). — Matériau importé.
Cellules souples	— Montage rapide — Etanche aux gaz — Entretien nul	— Manutentions difficilement mécanisables. — Risque de détérioration par des tornades des cellules en cours de chargement. — Risque de détérioration (coupures) lors des manipulations.

Magasin de stockage en vrac

L'épaisseur des murs en maçonnerie d'un magasin de stockage de céréales en vrac sera choisie en fonction de la densité du mur, du produit stocké et de la hauteur de stockage à l'aide des tableaux suivants :

Mur lisse :

Hauteur de stockage (m)	1,00			1,50			2,00			2,50			3,00		
Densité du mur (kg/m³)	1500	2000	2500	1500	2000	2500	1500	2000	2500	1500	2000	2500	1500	2000	2500
Densité du produit stocké (kg/m³)															
100	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,15	0,25	0,25	0,20	0,30	0,25	0,25
300	0,20	0,15	0,15	0,25	0,25	0,20	0,35	0,30	0,30	0,45	0,40	0,35	0,50	0,45	0,40
500	0,25	0,20	0,20	0,35	0,30	0,25	0,45	0,40	0,35	0,55	0,50	0,45	0,65	0,60	0,50
700	0,30	0,25	0,20	0,40	0,35	0,30	0,55	0,45	0,40	0,65	0,55	0,50	0,80	0,70	0,60

Mur rugueux :

Hauteur de stockage (m)	1,00			1,50			2,00			2,50			3,00		
Densité du mur (kg/m³)	1500	2000	2500	1500	2000	2500	1500	2000	2500	1500	2000	2500	1500	2000	2500
Densité du produit stocké (kg/m³)															
100	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15	0,10	0,20	0,15	0,15	0,25	0,20	0,20	0,30	0,25	0,20
300	**0,15**	0,15	0,15	0,25	0,20	0,20	0,30	0,30	0,25	0,40	0,35	0,30	0,45	0,40	0,35
500	**0,20**	0,20	0,15	0,30	0,25	0,25	0,40	0,35	0,30	0,50	0,45	0,40	0,60	0,50	0,45
700	**0,25**	0,20	0,20	0,35	0,30	0,30	0,45	0,40	0,35	0,60	0,50	0,45	0,70	0,60	0,55

3.5. Principaux moyens actuels de désinsectisation

1) Nettoyage des grains (voir produits de lutte antiparasitaire : préservation des denrées stockées).

2) Traitement des locaux vides et des emballages.

MATIERES ACTIVES ET DOSES AUTORISEES EN FRANCE

	Dichlorvos	Iodofenphos	Malathion	Pyrimiphos Méthyl	Pyrethrines Synergisées
Badigeonnage, pulvérisation de parois sacs vides grammes MA/m²	1	1	0,5	0,2	0,1
Atmosphère aérosols grammes MA/100 m³	7,5	—	4	7	10

3) Traitement curatif des stocks infestés.

	PRODUIT ACTIF	PRESENTATION*	DOSE
Insecticides fumigants (dans des enceintes étanches aux gaz)	Bromure de méthyle	L	15 à 45 g/m³ pendant 24 heures
	Phosphure d'hydrogène	S	15 g/m³ pendant 3 à 5 jours
Insecticides de contact	Pyrethrines naturelles Synergisées	LP SF	15 g MA/tonne
	Bioresmethrine	LP	1,5 g MA/tonne
	Dichlorvos	LP SF NEB	10 g MA/tonne
	Malathion	LP SF	8 g MA/tonne
	Pyrimiphos méthyl	LP NEB	4 g MA/tonne
	Chlorpyriphos méthyl	LP NEB	2,5 g MA/tonne

* Présentation : L = Liquide, S = Solide, LP = Liquide pour pulvérisation, SF = Solide fumigène, NEB = Spécial nébulisation

XIII

CLOTURES

Les ossatures les plus couramment employées pour l'édification des clôtures sont constituées de poteaux en bois, en béton, ou en fer cornière.

Les poteaux sont reliés entre eux par des lignes de fil de fer galvanisé ou de ronce à 2 ou 4 picots.

1. LES POTEAUX

Les poteaux sont en général espacés de 4 à 6 m, ont environ 2 m de hauteur totale dont 40 à 60 cm enfoncés dans le sol.

1.1. Les poteaux en béton armé.

L'armature est composée de 4 fers longitudinaux de ∅ 6 mm; disposés le long des arêtes et ceinturés par d'autres fers, de 0,5 mm, de place en place (tous les 50 cm) pour en assurer la rigidité.

— Coffrage :

Dans le cas de la préfabrication, le coffrage est un moule à trois côtés dont les dimensions intérieures sont celles du poteau; les parois latérales sont perçées de trous de ∅ 1 cm dans lesquels on passera des chevilles en bois lors du coulage du béton de manière à réserver la place du passage ultérieur des fils de fer de tension de la clôture.

L'espacement de ces trous sera de 30 à 35 cm, en fonction du nombre de lignes de fil de fer que devra avoir la clôture.

— Dosage du béton

- 50 kg de ciment
- 120 litres de gravillon
- 90 litres de sable.

1.2. Les poteaux en bois.

Les poteaux auront leur sommet arrondi pour faciliter le glissement de l'eau de pluie.

Ils seront imprégnés dans leur partie basse et au sommet d'un produit liquide pour éviter l'attaque des insectes et les protéger des intempéries : coaltar, huile de vidange, etc...

1.3. Les poteaux en fer cornière.

Les fers cornières seront des fers de 30 × 30 × 4, ou 50 × 50 × 8 ou plus, percés de trous sur une face pour le passage des fils de fer de tension.

2. CLOTURES D'EXPLOITATION

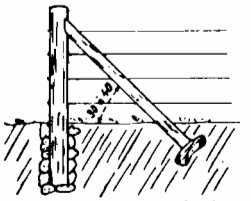
Servant à peu près uniquement à parquer les animaux, elles sont permanentes ou mobiles.

2.1. Clôtures permanentes.

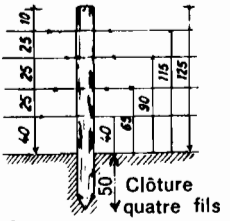
Généralement en fil de fer (4 à 5 rangs) fixé sur des poteaux et raidi à l'aide de tendeurs posés tous les 20 à 25 m.

— **Poteaux :**

On distingue des poteaux de tension (extrémités, angles) et des poteaux intermédiaires; l'efficacité de la clôture dépend de la bonne tension des fils.



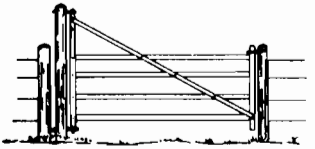
Poteau tête de ligne, renforcé par une jambe de force



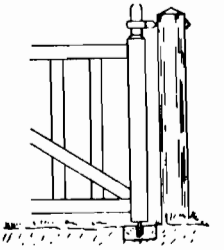
Clôture quatre fils



Tendeur permanent de fil



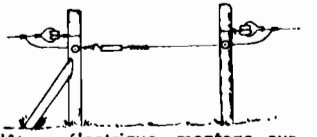
Barrière pivotante



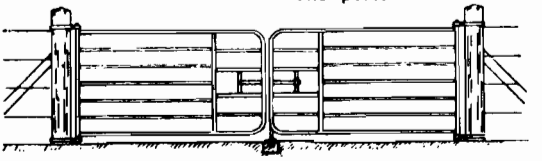
Articulation par bague et pivot



Fermeture de barrière, type normand



Clôture électrique, montage sur une porte



Barrière en tubes

- Les poteaux de bois doivent avoir un diamètre de 0,15 m.
- Les poteaux en béton doivent avoir une section de 0,12 × 0,12 m.
- Les poteaux de fer sont en profilé en L ou en T de 60 mm.

Les poteaux intermédiaires peuvent être plus légers : 0,80 m de diamètre ou 0,08 × 0,08 m de section. Les poteaux d'angle longs de 2 m doivent être enfoncés dans le sol de 0,75 m et être renforcés par 2 jambes de force.

Les poteaux « pickeing » permettent des clôtures de fil de fer à hauteur variable.

— **Fils de clôture :**

Ils sont en fil de fer galvanisé lisse ou barbelé à 2 ou 4 picots espacés de 8 à 11 cm. Désignation du fil de fer barbelé : 16 × 4 × 11 signifie : jauge 16, 4 picots espacés de 11 cm. Les clôtures sont à 4 ou 5 fils selon que les animaux sont calmes ou vifs. L'écartement des fils est de 0,25 à 0,20 m, le rang du haut étant à 0,10 du sommet du poteau.

Grillages en fil galvanisé (type Ursus) efficaces pour moutons, porcs.

2.2. Clôtures mobiles.

Utilisées dans le cas de prairies temporaires ou rotations d'herbages; leurs qualités sont la légèreté, la maniabilité, l'efficacité.

La clôture électrique remplit ces conditions. Elle comprend : un fil électrifié, des piquets munis d'isolateurs, un appareil électrificateur.

Elle peut être fixe ou volante. Elle a une hauteur de 0,60 m à 1,10 m suivant les animaux à parquer.

CLOTURE ELECTRIQUE

Animaux à parquer	Nombre de fils	Hauteur
Chevaux et vaches réunis	1	à 0,90
Chevaux seuls	1	à 1,10
Vaches seules	1	à 0,80
Vaches et veaux réunis	2 { 1	à 0,90
	2 { 1	à 0,60

La clôture électrique, d'une utilisation très facile, demande un investissement assez important.

Les appareils électrificateurs de clôture électrique sont alimentés soit par secteur (courant alternatif 220 ou 110 volts), soit par piles, soit par accus (6 à 12 volts). Ils transforment ce courant à basse tension en courant à haute tension (800 volts pour les accus 6 volts et 1 500 volts pour les accus 12 volts, 0,75 impulsion par seconde).

En zone sèche il est difficile d'employer des accus de 12 volts car, le sol étant moins conducteur, le courant passe mal.

1° Dans l'alimentation par accus **vérifier tous les huit jours** la tension et l'acidité de l'électrolyte.

2° **La prise de terre doit être excellente :** Pièce métallique enfoncée au moins à 80 cm de profondeur, en zone humide de préférence.

3° Le fil de clôture sous tension doit être **bien isolé du sol** pour éviter les consommations exagérées de courant. Intérêt de la sonnerie pour détecter les mises à la terre accidentelles.

2.3. Barrières.

Les barrières peuvent être en fil de fer galvanisé, en bois, métalliques en tubes galvanisés ou peints.

Dans ces deux derniers cas elles sont pivotantes.

Largeur maximale d'une barrière de bois ..... 3,50 m

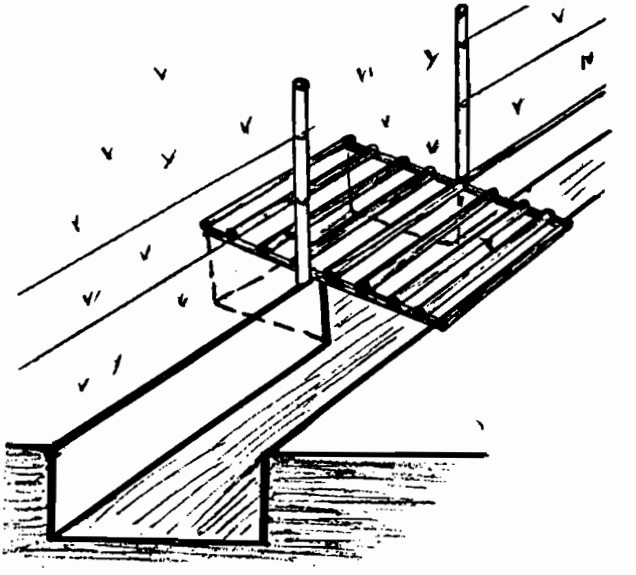
Largeur maximale d'une barrière en tube ..... 5,00 m

On peut réaliser une barrière très rustique avec de simples perches, mobiles entre elles.

Barrière australienne. — Elle permet le passage des automobiles et des camions sans que le conducteur soit obligé de descendre de son véhicule, tout en empêchant les bêtes de sortir.

On la réalise en disposant une grille au-dessus d'un fossé profond, ou mieux des tubes d'un diamètre de 50 à 75 mm, espacés de 15 à 22,5 cm.

La surface à claire-voie est large de 1,2 à 1,8 m.



CHAPITRE XIII

AGROFORESTERIE

1. INTRODUCTION A L'AGROFORESTERIE

1.1. Définition de l'agroforesterie :

L'agroforesterie est une nouvelle science *interdisciplinaire* qui étudie la *très ancienne pratique consistant à combiner, dans l'espace et dans le temps, des végétaux ligneux avec des cultures herbacées et/ou avec l'élevage sur la même parcelle de terre.*

C'est donc un terme collectif pour désigner des systèmes d'aménagement des terres où les ligneux pérennes (arbres, arbustes, arbrisseaux) sont cultivés délibérément dans les systèmes de production paysans.

L'arrangement est spatial ou temporel et des interactions écologiques et économiques voulues existent entre les ligneux et les autres composants du système ; ces interactions peuvent revêtir bien des formes, positives ou négatives, et ne restent pas nécessairement stables dans le temps.

1.2. Justifications – Intérêts :

1) L'agroforesterie est une source potentielle de solutions à de nombreux problèmes, étroitement liés, de production et de conservation dans les systèmes d'utilisation du sol des régions tropicales et sub-tropicales du monde entier, car adaptable à des situations très précises.

2) Les intérêts de l'agroforesterie sont multiples :

— recherche de systèmes écologiquement stables, économiquement viables et compatibles avec les pratiques sociales et culturelles des populations ;

— meilleure utilisation des surfaces disponibles : mise en valeur des terres marginales délaissées et création de zones mixtes de protection entre les zones agricoles et forestières ;

— meilleure utilisation des ressources disponibles (eau, énergie lumineuse, éléments minéraux, matière organique, variétés végétales, niches écologiques etc.). Le potentiel ligneux procure nourriture, fourrage, bois, protège les sols contre l'érosion et maintient voire améliore leur fertilité.

3) La finalité du système est que la plante prioritaire produise au moins autant qu'en monoculture, et même mieux lorsque cela est rendu possible grâce aux effets des plantes associées (ombrage, fixation d'azote, etc.).

La deuxième finalité est de rentabiliser la ou les niche(s) écologique(s) vide(s) et de les faire produire (bois, fruits, viandes etc.).

1.3. Difficultés :

Au niveau local :

— l'agroforesterie implique l'acceptation de la plante pérenne dans des systèmes de culture jusqu'alors strictement herbacés (le plus souvent) et de toutes les contraintes que cette introduction peut induire ;

— à l'échelle nationale, il s'agit d'opérer le contrôle et la gestion de ressources à la fois agricoles et forestières, ce qui nécessite une coordination entre les administrations concernées par l'agriculture et la forêt.

Au niveau scientifique :

— les pratiques agroforestières, bien que très anciennes dans le monde paysan, sont peu connues et sous-entendent une approche pluridisciplinaire des systèmes d'utilisation des terres (en particulier pour concilier deux disciplines jusque là très distinctes : l'agronomie et la sylviculture) ;

— cette approche doit nécessairement :

1) être entreprise dans une dimension écozonale pour identifier les problèmes et les potentiels communs sous-régionaux dans les systèmes de productions paysans ;

2) promouvoir et être le fait de la complémentarité des institutions de recherche de l'écozone en question ;

3) permettre le développement d'un réseau collaboratif de recherche pour une planification intégrée des programmes et pour la création d'une méthodologie de diagnostic et de conception des systèmes agroforestiers d'aménagement des terres.

— institutions intervenant dans des programmes agroforestiers :

1) CATIE : Centre Agronomico Tropical de Investigacion y Ensenanza (depuis 1973, à Turrialba au Costa Rica) ;

2) ICRAF : International Council for Research in Agroforestry (depuis 1978, à Nairobi au Kenya) ;

3) Institutions françaises, CNRS, CIRAD, ORSTOM, Museum d'Histoire naturelle ;

4) Instituts internationaux : UNESCO au Gabon, IIAT au Nigéria, SEARCA à Los Banos, IICA Tropicos au Brésil, etc.

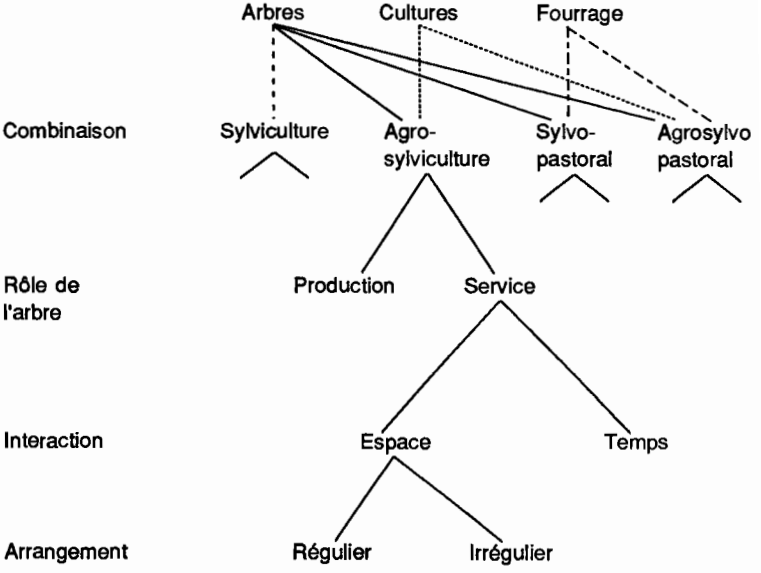
2. CLASSIFICATION ET TYPOLOGIE DES SYSTÈMES AGROFORESTIERS

2.1. Classification des systèmes agroforestiers

Différents niveaux de classification sont proposés, qui tiennent compte :

— des combinaisons possibles entre les composants du système : culture et/ou élevage associé(s) à des arbres ;

— du rôle de l'élément ligneux dans le système : fonction de production, de protection...
— du type d'interaction entre l'élément ligneux et les autres : association temporaire ou permanente ;
— de la manière dont les composants sont agencés dans l'espace : répartition régulière ou irrégulière.

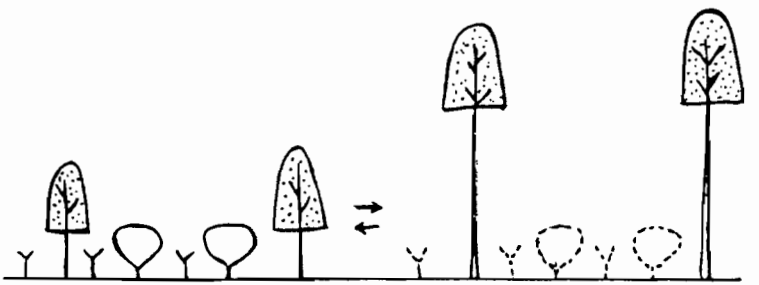


2.2. Typologie des systèmes agroforestiers

2.2.1. SYSTÈMES AGROSYLVICOLES

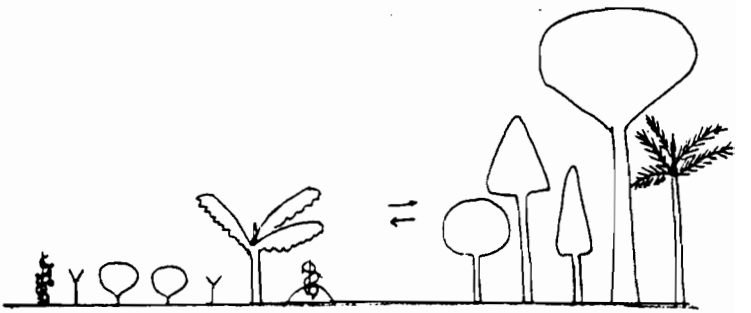
- **Systèmes faisant l'objet d'une rotation dans le temps**

— *Méthode taungya,* (et techniques apparentées aux cultures dans des plantations forestières) : il s'agit d'une association temporaire entre cultures vivrières (maïs, igname, manioc...) et plantations d'essences forestières nobles enrichissant une ancienne zone forestière épuisée. Ce sont des essences forestières de pleine lumière, s'élagant bien et traitées à courte révolution, comme le Teck (*Tectona grandis*), *Gmelina arborea, Cassia siamea*..., les plants bénéficient de la préparation du terrain et les cultures profitent du climat forestier. Largement répandus en Asie, les systèmes taungya évoluent vers des plantations monospécifiques de ligneux gérées par des forestiers. Une fois les essences exploitées, le cycle recommence par une nouvelle phase agricole, contrôlée par les paysans.



Systèmes taungya : Teck et cultures vivrières en Birmanie.

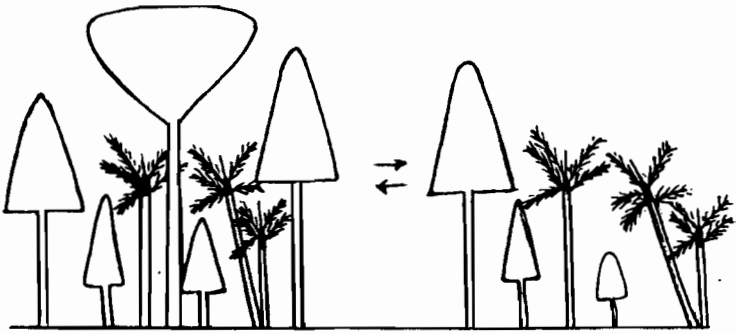
— *Jachère aménagée après culture sur brûlis.*
Après quelques années de culture, les espèces annuelles ou pluriannuelles sont remplacées par des espèces arborées pérennes : fruitiers, espèces cultivées pour le bois, palmiers... Parmi elles, *Anacardium occidentale, Spondias mombin, Théobroma cacao, Euterpe oleracea,* en région amazonienne ; *Acioa barterri, Anthononta macrophylla, Gliricidia sepium...* en Afrique de l'Ouest. Au bout de plusieurs années de jachère, le système peut être à nouveau reconverti en terres agricoles.



Jachère aménagée après culture sur brûlis.

— *Forêt aménagée*
La forêt naturelle fait place à un système de production « simplifié » où essences forestières et arbres fruitiers se côtoient ou se confondent et assurent une production continue, échelonnée dans le temps. En forêt inondée au Brésil, les essences les plus fréquentes sont *Euterpe oleracea, Hevea brasiliensis, Carapa quianensis, Virola surinamensis,...*

La plupart des essences qui composent la forêt aménagée sont locales, et le système fait l'objet d'une régénération naturelle.



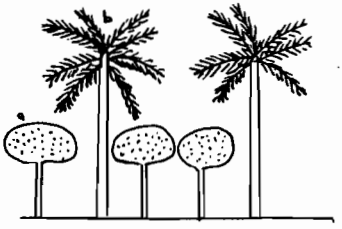
Forêt aménagée à structure et composition floristique simplifiées par rapport au milieu d'origine.

- **Systèmes stables dans le temps**

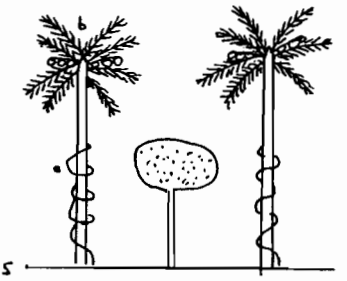
— *Système à dominante ligneuse pérenne.*

Ils peuvent être classés en fonction de la complexité de l'agencement spatial des espèces qui les composent, et de l'origine de ces espèces (plantation ou milieu naturel).

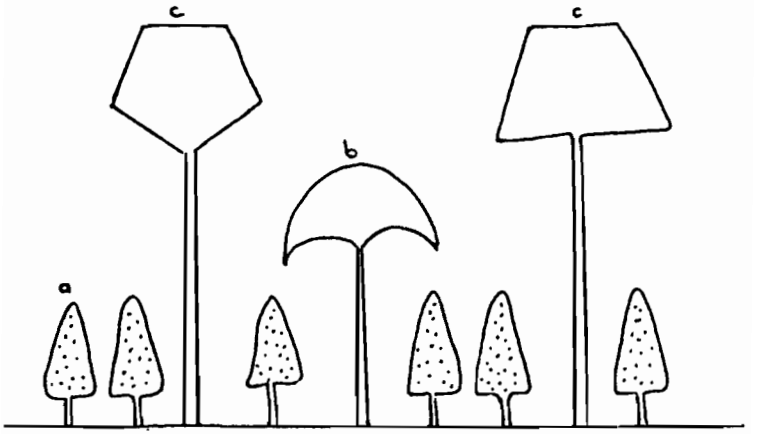
1) Arbres dans l'espace assigné aux plantations.



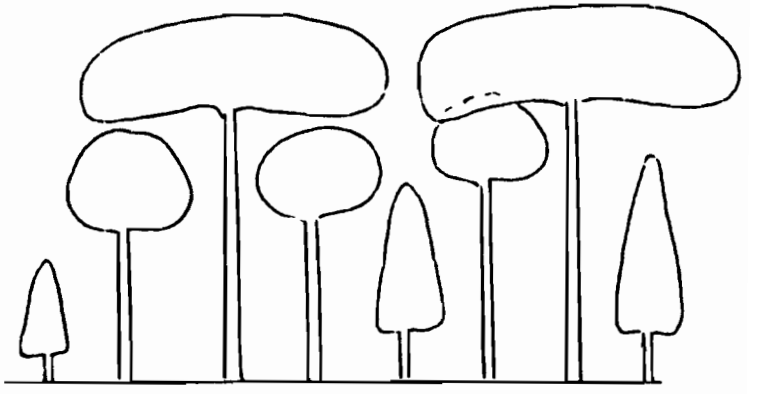
Cacao (a) sous cocotier (b) en Inde. Café sous palmier à huile en Afrique.



Association poivrier (a), cocotier (b), cacaoyer (c), en Inde.

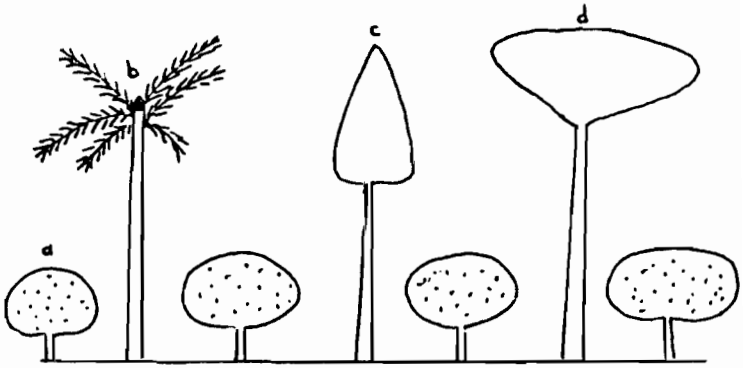


Plantation de caféiers (a) ombragés par une strate basse de Légumineuse (b) *Erythrina poeppigiana*, et par une strate haute de *Cordia alliodora* (c).

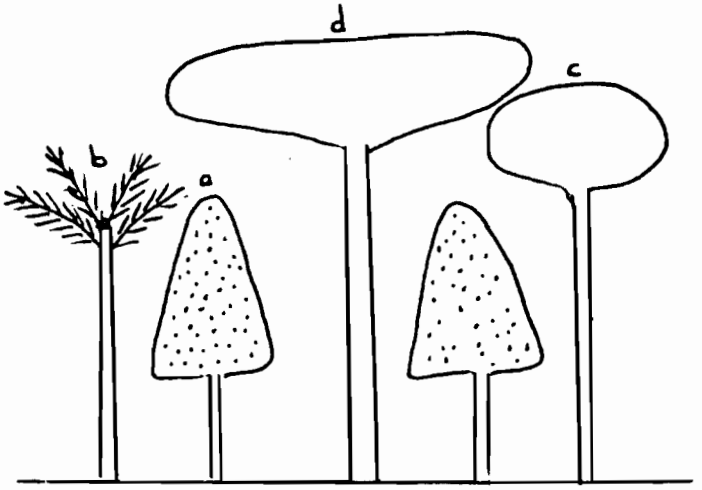


Combinaison de différentes espèces arborées : arbres producteurs de bois d'œuvre, fruitiers, arbres producteurs de résine, latex, huile... En Indonésie, les espèces les plus représentées sont *Shoréa iavanica, Durio zibethinus, Toona sinensis, pterosermum javanicum, Cinnamomum burmanii...*

2) Plantations dans le milieu forestier d'origine.



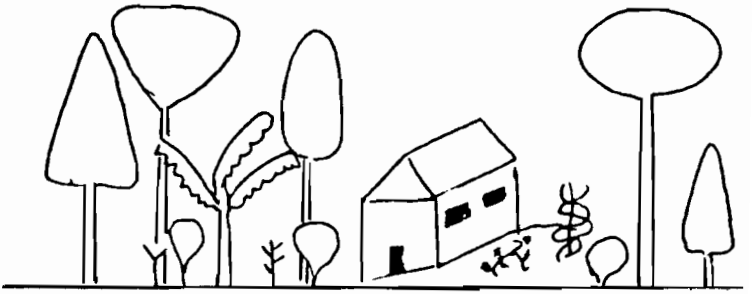
Plantation de cacao (a) sous *Mauritia flexiosa* (b), *Hevea brasiliensis* (c), et *Vicola surinamensis* appartenant à la forêt naturelle en région inondée au Brésil.



Introduction de *Theobroma grandiflorum* (a) sous *Bactris gassipaes* (b), *Carapa quianensis* (c), et *Berthollecia excelsa*, en forêt bien drainée au Brésil.

— *Systèmes intermédiaires : les jardins de case.*

En fonction de leur localisation, ces systèmes présentent une combinaison espèces ligneuses, espèces à cycles courts très variable. En zone tropicale humide, bananiers, papayers, taros, maniocs, ignames, manguiers, avocatiers... y sont bien représentés.



Jardins de case.

— *Systèmes à dominante herbacée.*

Ces systèmes présentent tous les intermédiaires entre les cultures intercalaires régulières, et les cultures qui ne présentent aucun agencement ordonné.

Les espèces les plus fréquemment rencontrées en cultures intercalaires en Asie du Sud-Est sont *Sesbania grandiflora, Leucaena leucocephala,* et *Calliandra calothyrsus.*

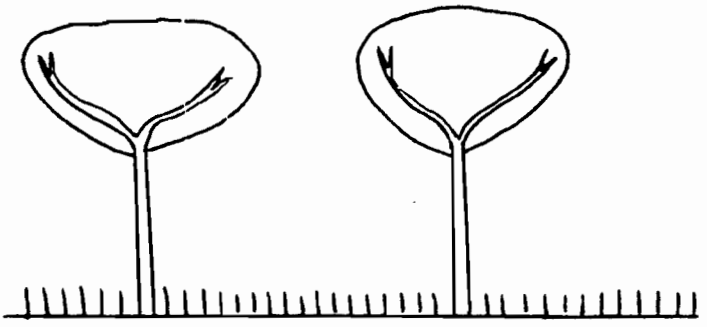


1) Arbres dans l'espace assigné aux cultures.

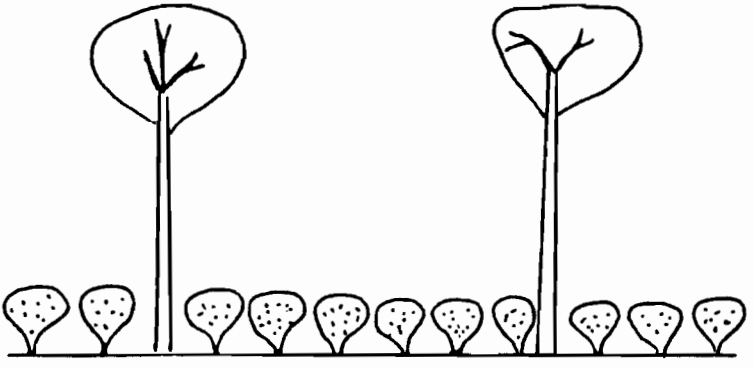
Parmi les critères de classification, on retiendra :

— la fonction de chacune des espèces ;

— la proportion espèces à cycle court/espèces pérennes.



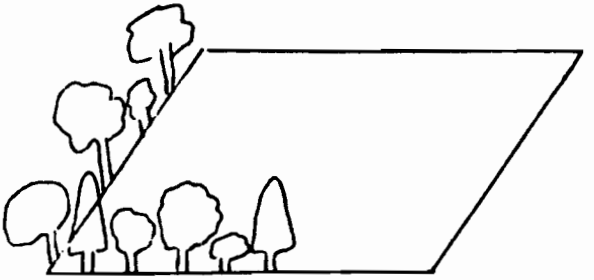
Ligneux multi-usages sur annuelle cultivée : *Acacia albida* associée au mil en Afrique, ou igname sous *Leucaena leucocephala*.



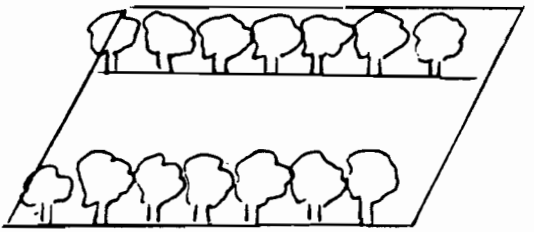
Une espèce pérenne associée à une pluriannuelle : plantation de thé ombragée par la Rhamnacée africaine *Maesopsis eminii* à Java.

2) Arbres juxtaposés à l'espace cultural.

Dans ces systèmes, les espèces pérennes sont alignées entre, ou autour des espaces cultivés.



Haie vive : plusieurs espèces de *Casuarina* sont utilisées en Asie, *Cassia siamea,* en Afrique (Cameroun). Cocotier sur diguettes de rizières en Indonésie.



Brise-vent : *Eucalyptus camaldulenis* est planté à cet effet au Niger et au Soudan.



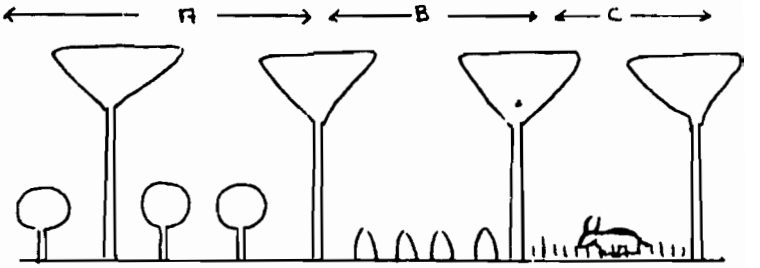
Arbres sur digues autour des étangs piscicoles.

2.2.2. SYSTÈMES SYLVOPASTORAUX

— pâturage dans les formations végétales naturelles (forêts claires, savanes, brousse tigrée...) ;
— pâturage dans les plantations forestières : sous cocotiers ou *Eucalyptus deglupia* dans le Pacifique Sud, sous *Hevea brasiliensis* en Asie, sous *Acacia spp.* au Kenya, en Somalie, en Ethiopie ;
— pâturage dans un espace arboré enrichi en essences de valeur. Les espèces utilisées peuvent être fixatrices d'azote, productrices de fruits, bois, fourrage. (*Cedrela odorata* au Brésil, Albizzia, figuiers, muriers...).

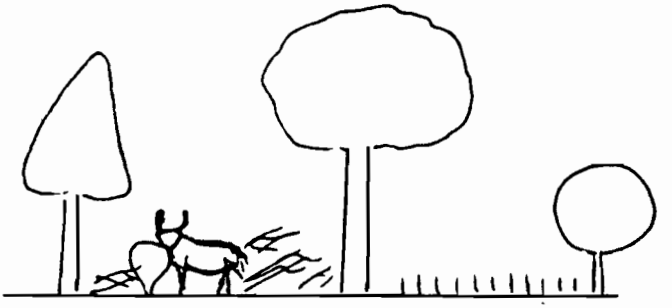
2.2.3. SYSTÈMES AGRO-SYLVO-PASTORAUX

Culture et élevage dans des plantations forestières.



En Malaisie, utilisation des strates basses d'une plantation d'hévéas par l'implantation d'agrumes (A), de la composée médicinale *Stivia rebaudiana* (B) ou d'une pâture pour les bestiaux (C).

Arbres et élevage dans l'espace assigné aux cultures.



Cultures alternant avec bétail au cours de l'année dans un espace implanté d'arbres utiles : en Afrique, association *Cassia albida*, cultures vivrières, élevage.

Arbres juxtaposés à l'espace agropastoral.



Cultures alternant avec bétail au cours de l'année, dans un espace ceinturé de haies vives.

• D'autres systèmes, faisant intervenir l'élément arboré sont très répandus en région tropicale :
— la sylviculture en zone de mangrove ;
— l'apiculture avec association de ligneux ;
— différentes formes de culture sur brûlis.

3. EXEMPLES DE SYSTÈMES AGROFORESTIERS

Cinq études de cas seront présentées :
• systèmes agroforestiers de zone sèche : associations à *Acacia albida* ;
• agroforesterie en zone sèche : les oasis à palmier-dattier : *Phoenix dactylifera* ;
• agroforesterie villageoise : les jardins créoles ;
• agroforesterie en zone tropicale humide : les plantations paysannes mixtes ;
• agroforesterie en forêt tropicale humide : la forêt aménagée.

3.1. Systèmes agroforestiers de zone sèche
Association à *Acacia albida*

3.1.1. CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU

— pays concernés : l'Afrique de l'Ouest, en zone soudano-sahélienne ;
— pluviométrie annuelle : entre 300 et 800 mm/an ;
— sols alluviaux d'origine éolienne — nappe phréatique proche ;
— terroir agricole.

3.1.2. CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME

L'association à *Acacia albida* est un système stable dans le temps, à dominante herbacée (cultures de mil, sorgho...) où les arbres ne sont pas ordonnés dans l'espace assigné aux cultures.

Dans l'Ouest sénégalais, les terrains cultivés du « pays Serére » portent fréquemment 40 à 50 pieds à l'ha. *Acacia albida* est en grande part

responsable de la vie alimentaire des populations de ces régions dont la densité atteint 100 habitants/km².

3.1.3. AVANTAGES-INTÉRÊTS

Acacia albida est une légumineuse fourragère de zone sèche, qui présente de nombreux intérêts.

Intérêts écologiques

Acacia albida possède un rythme phénologique inversé dans l'hémisphère Nord, sous un climat à longue saison sèche, dans des conditions édaphiques sévères : elle perd ses feuilles en saison des pluies, émet de jeunes pousses et fructifie en saison sèche.

Elle peut atteindre 20 m de hauteur et 1 m de diamétre. Son enracinement est pivotant et peut descendre jusqu'à 30-40 m.

C'est une espèce fixatrice d'azote atmosphérique.

Intérêts agronomiques

- absence de compétition pour la lumière entre *Acacia albida* et les autres espèces en saison des pluies ;
- absence de compétition pour l'eau et les éléments nutritifs (pas de systéme radiculaire traçant) ;
- fertilisation du sol : enrichissement en azote et apport de carbone dû à la décomposition des feuilles, de l'écorce, et d'une partie des fruits. L'augmentation du taux de carbone et d'azote du sol peut atteindre 40 à 100 % ; l'activité microbiologique est améliorée de deux à cinq fois.

Acacia albida permet une amélioration très nette des sols lessivés ou des terres épuisées par les cultures et de mauvais assolements.

Autres avantages

Feuilles et gousses d'*Acacia albida* fournissent un fourrage abondant de très haute valeur nutritive, à une période cruciale de l'alimentation des animaux.

Les gousses sèches se conservent très bien et peuvent être vendues. Le bois est très apprèciè : c'est un assez bon combustible. Il peut être débité pour la charpente légère, la caisserie ou sous forme de piquets.

Rendements

- le rendement en mil sous *Acacia albida* est multiplié par 2, 3, voire plus ;
- au Niger, la charge habituelle du bétail est de 10 unités au km². Elle double dans les zones à *Acacia albida* ;
- un *Acacia albida* adulte produit en moyenne 125 kg de gousses d'une valeur fourragère deux fois supèrieure à celle d'un bon foin ou de fanes sèches d'arachide ou de riz. A raison de 20 arbres par ha, produisant 2 500 kg de gousses, la production permet de produire théoriquement 1,3 bœuf à l'ha, ou encore, avec 7 kg de gousses par jour, on nourrit un bovin ; pour 1 UB de 250 kg, qui produit 7 litres de lait par jour, on gagne 700 g de poids vif quotidiennement.

3.1.4. CONTRAINTES ET SPÉCIFICITÉS

— éviter le semis direct : jeunes plants élevés en sacs polyéthylène ;
— protéger les jeunes plants du bétail ;
— prévoir des pertes la première année : il est conseillé de planter 100 pieds/ha à 10 × 10 m ;
— maintenir une surveillance après la première année (effets néfastes du bétail, du désherbage, du sarclage) ;
— favoriser la protection de la régénération naturelle dans les champs.

3.2. Les oasis à palmier-dattier : *Phoenix dactilifera*

3.2.1. CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU

• Dans les zones sahéliennes et sub-sahariennes, les oasis à palmier-dattier s'étendent sur environ 500 000 ha, et font vivre directement plus de 5 millions d'oasiens, auxquels il faut ajouter les populations vivant partiellement des oasis (éleveurs transhumants...).

Observations en Mauritanie, Tunisie, Djibouti Maroc, Sud-Maghreb...

3.2.2. CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME

Ce système stable, à dominante ligneuse pérenne, est une association judicieuse élevage-culture irriguée sous palmier-dattier. Il existe de nombreux systèmes intermédiaires entre les deux extrêmes :

— la palmeraie de simple cueillette associant élevage caprin ou camelin extensif (deux types extrêmes de forme d'organisation) ;
— le système oasien intensifié, associant le palmier-dattier, l'élevage sédentaire de petits ruminants, les cultures fruitières, les cultures vivrières, de rente, ou fourragères irriguées.

A des niveaux de pratiques culturales plus ou moins intensives, correspondent des pratiques d'élevage plus ou moins extensives (cf. tableau). La « densité » de l'association agriculture-élevage est révélatrice de la disponibilité des ressources en eau.

3.2.3. INTÉRÊTS DU SYSTÈME

— valorisation des ressources rares et limitées : l'eau et l'espace cultivable (car irrigable) ;
— productions multiples : viande, lait, laine, toisons, palmes, bois, dattes, vivriers, fruitiers, fourrage, fumiers ;
— niveau de performance élevé grâce à des pratiques de sélection judicieuses (présence d'ovins hautement performants et transformant des productions fourragères intensives sur de petites surfaces) ;
— formes d'organisation de zones refuge, îlots de survie dans un environnement agressif pour les populations qui y vivent ;
— maintien de la fertilité des sols grâce à la production importante d'engrais.

Différents types d'association agriculture/élevage à degré d'intensification croissante

NATURE DES TRAVAUX AGRICOLES	AGRICULTURE ← intensité des relations → ÉLEVAGE	
Cueillette des dattes, parfois pollinisation des palmiers	Type A : eau non disponible ; palmeraie de cueillette ↔ Type B : eau disponible ; palmeraie seule, pas de cultures associées ↔	élevage extensif associé
Entretien, irrigation	Type C : palmeraie avec quelques associations culturales ↔	élevage extensif début d'élevage intensif
Irrigation	Type D : palmeraie avec sous cultures associées de plus en plus intensifiées : céréales : blé, orge, sorgho ↔	élevage extensif associé dominant
Culture	cultures maraîchères : fèves ↔	plusieurs espèces élevées : ovins, bovins caprins, camelins
	cultures de rente : henné, safran	
	arboriculture fruitière : orangers, grenadiers	
	cultures fourragères : luzerne, trèfle d'Alexandrie. ↔	élevage ovin D'Mane

3.2.4. SPÉCIFICITÉ-CONTRAINTES

Contraintes

— plus la « densité » de l'association augmente, plus le système de production dont elle fait partie devient fragile ;

— toute modification du système de production pour induire des effets positifs, implique une très bonne connaissance préalable des mécanismes de son fonctionnement ;
— ressources naturelles valorisées de façon individuelle, mais gérées collectivement par les groupes sociaux.

Rendements

— luzerne : environ 100 t/ha/an. Production échelonnée toute l'année et récoltée en une douzaine de coupes ;
— mouton D'mane : race locale domestiquée se nourrissant de résidus de cultures et de cuisine (noyaux de dattes) ; présente des caractères zootechniques exceptionnels : désaisonnement (une mise bas tous les 6 mois-10 jours) ; prolificité élevée, voisine de 200 % en conditions locales d'élevage ;
— alimentation concentrée : alimentation annuelle d'un animal produite sur 6 ares de luzerne et 1 are de sorgho ;
— alimentation concentrée : 50 kg/an constituée de noyaux de dattes, parfois d'orge. La paille provient des surfaces en blé et en orge de la petite exploitation familiale.

3.3. Agroforesterie villageoise Les jardins créoles

3.3.1. CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU

Etude de cas : Guyane (Saül) :
— pluviosité moyenne : 2 398 mm/an ;
— température moyenne annuelle : 25,4 °C ;
— sols ferralitiques ;
— altitude : 206 m ;
— forêt haute de plaine et de pente douce bien draînée ;
— habitants : créoles originaires de l'île de Sainte-Lucie.

3.3.2. CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME

Ce cas est un exemple de système agroforestier intermédiaire entre la dominance ligneuse et herbacée.

Il s'agit d'associations vivriers-fruitiers-légumes verts, situées à proximité de l'habitation, et pour lesquelles il existe tous les intermédiaires entre :
— les cas où quelques individus d'espèces différentes se côtoient ;
— le cas où ces mêmes individus sont plantés en mélange culturaux dans une zone nettement délimitée de la parcelle.

Les associations culturales les plus fréquentes sont :

— manioc doux-patate douce ;
— maïs-haricots-dachine *(Colocasia antiguorum),* dont les tubercules sont plantés en début de saison des pluies ;
— bananier-patate douce ;
— manioc doux-bananier-patate douce-dachine ;

— bananier-dachine ;
— maïs-dachine-cucurbitacée *(Cucurbita moschata)* ;
— maïs-haricots-cannacéae *(Canna indica).*

A ces cultures vivrières sont superposés des fruitiers formant des strates plus ou moins continues :

— agrumes : citronniers, orangers, mandariniers... ;
— caféiers, cacaoyers ;
— papayers, corrossoliers, pommes cythères... ;
— avocatiers, manguiers...

Ces espèces arborées servent de support à des plantes lianescentes, comme les ignames ou les « cristophines » *(Sechium edule).*

Les légumes verts et les plantes aromatiques sont généralement cultivées dans des bacs en planches surélevés, plus ou moins ombragés.

3.3.3. SPÉCIFICITÉS DU SYSTÈME

— les jardins créoles se caractérisent par une grande diversité, aussi bien au niveau spécifique que variétal. Ils sont extrêmement dynamiques dans le temps, et visent à une exploitation maximale de l'espace horizontal et vertical ;
— les plantations et les récoltes sont échelonnées dans le temps, ce qui permet une occupation permanente du sol ;
— du fait de la proximité de l'habitat, les jardins créoles peuvent bénéficier de soins particuliers : recyclage des ordures ménagères, apport de cendres, création de buttes ou billons, et, le cas échéant, arrosage ;
— dans les zones forestières, pour des densités de population faibles, on observe des interactions entre les parcelles cultivées et le milieu environnant : des espèces animales comme le daguet (« biche » en créole, *Mazama spp.*), le paca *(Cuniculu paca),* ou l'agouti *(Dasyprocta agouti)* sont attirées dans les jardins par les feuilles de manioc, la pulpe des graines de cacao, et elles y sont tuées.

3.3.4. INTÉRÊTS DU SYSTÈME

— diversification des niches écologiques et des strates exploitées : constitution de microenvironnement favorable à la germination et à la croissance de certaines espèces ;
— protection des sols par maintien d'un couvert arboré ;
— productions multiples ;
— stabilité des systèmes dans le temps.

3.4. Les plantations paysannes mixtes Espèces à bois, cultures d'exportation, fruitiers

3.4.1. CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU

Pays concernés : observations réalisées en Indonésie (Sumatra) :
— pluviométrie abondante : 3 000 à 4 500 mm d'eau par an, bien répartie sur toute l'année ;

— zone délimitée par les pentes internes d'un ancien cratère volcanique dont le centre est occupé par un lac ;
— pentes fortes, sols fragiles, altitude comprise entre 450 m et 1 300 m ;
— zone rurale isolée, mais assez bien reliée à des marchés urbains et à un port international ;
— densité de population voisine de 350 habitants/km^2, stable, du fait de la migration traditionnelle des jeunes vers d'autres régions ;
— société matrilinéaire, organisée en clans. Pas de propriété individuelle des terres, mais droit d'usage attribué aux femmes mariées du clan. Propriété individuelle des arbres valable pour le planteur et ses descendants directs ; après, propriété collective des très vieux arbres.

3.4.2. CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME

Ce système agroforestier est caractérisé par une dominance ligneuse pérenne avec combinaison de plusieurs espèces arborées.

Composition de l'association

— plantes pérennes : six espèces sont communément plantées, entretenues et systématiquement récoltées : un fruitier *(Durio zibethinus),* deux espèces plantées pour le bois *(Pterospermum javanicum* et *Toona sinensis),* trois cultures d'exportation (cannelle, *Cinnamomum burmanii,* muscade *Myristica fragrans,* et café robusta) ;
— cultures annuelles : les espèces les plus fréquentes sont le chili *(Capsicum annum),* l'aubergine *(Solanum melongera),* le maïs, les haricots *(Vigna spp., Phasedus spp.),* le concombre, et des fruitiers à croissance rapide, comme le bananier, et le papayer. Absence des tubercules, trop souvent détruits par la faune.

Ces cultures annuelles sont présentes par intermitence, et leur importance s'accroît lorsque d'autres cultures (riz ou fruitiers) enregistrent de mauvais résultats agronomiques ou économiques :

— espèces et peuplements spontanés : plus d'une cinquantaine d'espèces ont été recensées dans les agroforêts ;
— aucune plante pérenne ne domine en densité.

Aménagement, gestion et exploitation

— intervention continue uniquement pour les six espèces pérennes cultivées ;
— interventions périodiques pour les espèces annuelles ;
— gestion des fruitiers et des arbres à bois au niveau de l'individu ; exploitation des cultures d'exportation par peuplements (café, muscade, cannelle), ou au niveau de l'individu (cannelle).

Insertion de l'agroforêt dans l'exploitation agricole

— l'exploitation des agroforêts est associée à la riziculture. L'importance de ces deux activités est très variable : les revenus monétaires issus des agroforêts peuvent représenter de 5 à 85 % des revenus totaux ;

— l'importance de la riziculture détermine le choix des cultures pérennes d'exportation dans les agroforêts : café et cannelle, là où la riziculture est prépondérante ; muscade, là où elle est peu développée ;
— dans l'espace, séparation nette des rizières, au fond du cratère, et des agroforêts sur les pentes.

3.4.3. INTÉRÊTS DU SYSTÈME

— productions multiples complémentaires au riz : alimentation, bois de feu, bois d'œuvre, matériaux divers, plantes médicinales, et apport de revenus monétaires, saisonniers ou réguliers (cannelle, bois de feu et bois d'œuvre) ;
— réduction des risques économiques par la diversification des productions et des débouchés : marchés urbains pour les fruits, marché rural régional pour le bois de feu et le bois d'œuvre, marché d'exportation pour la cannelle, la muscade et le café ;
— adaptation des systèmes agroforestiers aux besoins des exploitants : intensification temporaire des cultures de sous-bois en cas de faillite de la riziculture ;
— protection effective de la forêt naturelle au sommet des pentes, par la production de produits habituellement collectés en forêt ;
— protection des sols fragiles contre l'érosion et les glissements de terrains fréquents sur les pentes les plus abruptes ;
— réservoir génétique pour des espèces forestières spontanées, maintenues dans les agroforêts ;
— au niveau national, importante production destinée à l'exportation.

3.4.4. RENDEMENTS

— valeur totale de la production d'un hectare d'agroforêt comprise entre 5 500 F/an (production fruitière faible, et cannelle dominante dans le sous-bois) et 18 000 F/an (production fruitière importante et muscade dominante dans le sous-bois). Une récolte de riz produit 7 500 à 12 000 F (valeurs estimées au prix du marché local, pour les produits commercialisés et autoconsommés).

3.4.5. CONTRAINTES

Un encadrement technique et une amélioration des systèmes nécessiterait une coordination de différents services techniques. En 1984, l'encadrement technique était limité à la riziculture.

3.5. Agroforesterie en forêt tropicale humide La forêt aménagée

3.5.1. CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU

Pays étudié : Brésil (estuaire amazonien)
— pluviométrie moyenne : 2 732 mm/an ;
— température moyenne annuelle : 25,3 °C ;
— sol : Gley, caractérisé par une forte teneur en argile.

L'estuaire amazonien se compose d'un ensemble d'îles de tailles variables. Ces îles sont sujettes à des inondations partielles ou totales, en période d'équinoxe, et à des fluctuations quotidiennes du niveau de l'eau (marées).

La végétation est caractéristique de la forêt inondée, avec une faible diversité spécifique, et la présence de nombreuses espèces d'intérêt économique : *Euterpe oleracea, Hevea spp., Theobroma cacao...*

La dynamique de croissance et de régénération des espèces dominantes (palmiers) est rapide.

Malgré la fertilité du sol, due à la présence d'alluvions transportées par le fleuve, les caractéristiques du milieu imposent de fortes restrictions à l'agriculture.

La population rurale vivant en forêt inondée est d'origine cabocle. Elle résulte du métissage de populations d'origine indienne et africaine, puis européenne. Son habitat est dispersé.

La taille des propriétés exploitées par les cabocles atteint souvent plusieurs dizaines, voire centaines d'hectares, mais les zones effectivement « aménagées » sont limitées à quelques hectares. La législation foncière est extrêmement floue dans la zone, l'ensemble des îles appartenant à l'état (Marine).

3.5.2. CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME

Système de production variée, continue et échelonnée dans le temps (rotation), la forêt aménagée résulte d'une intervention directe de l'homme sur le milieu d'origine. Cette intervention s'opère à différents niveaux :

Dans le sous-bois par :

- un déboisement sélectif des arbres et arbustes ;
- une élimination quasi totale des lianes ;
- un dépressage des touffes de palmiers. Le palmier *Euterpe oleracea* forme des touffes d'environ douze troncs. Parmi ceux-ci, les individus âgés sont abattus, et leur cœur est commercialisé à une échelle internationale. La croissance des jeunes pieds est ainsi favorisée ; leurs fruits sont consommés et vendus localement ;
- une introduction d'espèces nouvelles.

Au niveau de la voûte :

On observe la création de trouées destinées à favoriser la croissance d'espèces utiles. Les arbres à éliminer sont annelés et meurent sur pied avant d'être débités pour fournir du bois de construction ou du bois de feu.

En forêt aménagée, les espèces forestières locales fournissent l'essentiel des revenus : latex (*Hevea brasiliensis*), cœurs et fruits de palmier (*Euterpe oleracea*), fruits (*Theobroma cacao, Spondias mombis*), fibres (*Mauritia flexiosa, Raphia taedigera...*), bois (*Ceiba pentandra, Virola surinamensis...*), médicaments (*Carapa quianensis*). A ces essences, s'ajoutent des herbacées médicinales et ornementales, souvent commercialisées.

3.5.3. SPÉCIFICITÉS DU SYSTÈME

— une connaissance approfondie du milieu naturel et de ses contraintes est indispensable à la bonne gestion de la forêt. Les phénomènes naturels (régénération, dispersion des espèces...) jouent un rôle clé dans la reproduction du système. Il existe de nombreuses interactions biotiques entre la forêt aménagée et la forêt naturelle (échanges d'espèces animales et végétales), qui contribuent à la stabilité du système agroforestier ;
— la présence d'une main-d'œuvre nombreuse est nécessaire au moment du nettoyage du sous-bois, deux fois par an, pendant la saison sèche ;
— les produits alimentaires (farine de manioc, riz) doivent être achetés, ou cultivés sur les terres hautes, bien drainées.

3.5.4. INTÉRÊTS DU SYSTÈME

— diminution du risque : érosion, inondation...
— productions variées, échelonnées dans le temps ; elles permettent de faire face aux fluctuations du marché, et au problème parfois difficile du transport de marchandises par le stockage sur pied des produits ;
— faible investissement en terme de travail et de technologie.

4. SPÉCIFICITÉ DE L'AGROFORESTERIE PAR RAPPORT A L'AGRICULTURE ET LA SYLVICULTURE

4.1. L'agroforesterie au carrefour des connaissances

« Dans une agroforêt, chaque plante est à la fois un élément structural d'une forêt, et un élément producteur d'un système agricole ». (OLDEMAN, com. pers.).

L'obtention de systèmes agroforestiers peut être réalisée de deux maniéres :

— à partir du sol nu ou de culture(s) annuelle(s), par reconstitution d'un couvert arboré (plus ou moins continu et clairsemé) ;
— à partir de la forêt par élimination d'espèces, individus, ou strates de végétation, et/ou introduction d'espèces nouvelles.

Ces opérations nécessitent des connaissances agronomiques, des connaissances dans le domaine forestier, et des connaissances sur l'écologie du milieu (cycles et modalités de régénération des espèces, exigences écologiques...).

L'intervention de l'homme sur les écosystèmes naturels doit être opérée avec la plus grande prudence : la mise en valeur d'un écosystème aussi complexe que la forêt tropicale humide ne peut que s'appuyer sur des exemples de gestions réussies, qu'elles soient proposées par des scientifiques, ou qu'elles soient élaborées par des populations rurales qui vivent en étroit contact avec leur environnement, et savent le mettre en valeur.

L'agroforesterie se situe donc à l'intersection des champs de connaissance et de compétence de différents intervenants : si les limites entre

disciplines ne sont pas toujours strictement établies, les échanges entre agronomes, forestiers, écologues, paysans, administrateurs,... ne peuvent qu'être bénéfiques au développement de l'agroforesterie.

A l'heure actuelle, les recherches s'appuient sur deux démarches :

— l'étude descriptive et la classification des systèmes existants ;
— l'étude expérimentale de systèmes agroforestiers, et leur amélioration.

4.2. Les écosystèmes agroforêts

4.2.1. BIEN APPRÉHENDER L'ENTITÉ « AGROFORÊT » :

L'agroforêt est une composante écologique à part entière d'un espace rural : c'est une entité, même si l'on a du mal à l'appréhender dans le paysage forestier : par exemple, une forêt aménagée en région tropicale ne se distingue pas toujours, de prime abord, d'une forêt naturelle.

Les plantations paysannes commerciales peuvent masquer l'agroforêt : les cultures commerciales seules prises en compte sont, de fait, souvent associées à de nombreuses autres espèces pérennes, secondaires, non commerciales, ou présentes en plus faible densité, et l'aspect agroforestier de ces plantations est parfois négligé.

4.2.2. L'AGROFORÊT, ASSOCIATION D'ESPÈCES ET DE VARIÉTÉS VÉGÉTALES :

La mesure du rendement par unité de surface notamment reste difficile, d'autant plus que dans les agroforêts, l'espace utilisé comprend une dimension supplémentaire matérialisée par la superposition des strates de végétation.

La combinaison de plusieurs spéculations (différentes variétés ligneuses et herbacées) a pour fonction essentielle de réduire les risques :

— **risques économiques** dûs aux fluctuations du prix des produits commercialisés ;
— **risques écologiques** dûs au rythme biologique parfois imprévisible de certaines espèces pérennes (variétés locales de fruitiers), aux attaques de prédateurs et aux diverses maladies.

Il est rare que toutes les spéculations enregistrent à la fois de mauvais résultats agronomiques. Si les produits sont destinés à des utilisateurs diversifiés (consommateurs locaux, famille de l'exploitant, consommateurs urbains, usines de transformation locales ou étrangères, négociants, exportateurs, etc.), les risques d'une mauvaise valorisation toucheront rarement tous les produits à la fois.

4.2.3. L'AGROFORÊT : ASSOCIATION D'ESPÈCES PÉRENNES, ANNUELLES ET PLURIANNUELLES :

Les exigences écologiques des espèces présentes dans une agroforêt sont extrêmement variables : espèces sciaphiles, espèces héliophiles, espèces

nitrophiles... L'agroforêt permet de diversifier les niches écologiques, et offre à chaque individu les conditions optimales de croissance.

Les dynamiques de croissance et de régénération des espèces, le renouvellement et la rotation des peuplements sont à étudier avec précision si l'on veut éviter les problèmes d'encombrement spatial, et de compétition.

— Dans le cas des peuplements végétaux, l'architecture des espèces est un élément clef pour l'organisation des systèmes agroforestiers. L'occupation souterraine et aérienne des végétaux permet différentes combinaisons et en exclut d'autres.

1) Par exemple, dans l'association cacaoyer - poivrier - cocotier, le cacaoyer se développe entre les lignes du cacaoyer grâce à un enracinement pivotant profond (contrairement au système de racines fasciculées du cocotier), et grâce à la taille plus faible qui lui permet d'exploiter l'espace aérien sous les couronnes du cocotier. Les lianes de poivrier se développent le long des troncs de cocotiers, et installent leurs racines dans les horizons superficiels délaissés par les racines de ces derniers.

2) Dans le cas du bananier, afin d'éviter la perte de place due à l'encombrement des racines traçantes de cette espèce, les agriculteurs creusent des fosses dans lesquelles sont enterrés les bananiers : leurs racines se développent toujours latéralement, mais à une certaine profondeur.

3) Le manioc et les patates douces (sur billons) peuvent être cultivés côte à côte, alors que la combinaison igname-manioc est déconseillée, à cause de l'encombrement racinaire.

— Les synergies entre espèces peuvent être mises à profit ;
— une substitution judicieuse des espèces dans le temps, peuplement par peuplement, ou individu par individu, permet de diminuer les périodes improductives et d'améliorer le rendement. Il faut alors éviter les interactions négatives entre les composantes du système : échelonner les productions dans le temps et les rendre complémentaires ;
— plus les plantes pérennes sont nombreuses et étagées, et plus le système devient complexe car des prévisions à long terme sont nécessaires pour assurer le renouvellement de l'agroforêt.

L'agroforêt nécéssite une adaptation des techniques de taille, greffe..., et du contrôle phytosanitaire, tenant compte du fait que les objectifs sont à la fois sylvicoles et agricoles. Un traitement homogène de l'ensemble de la population végétale n'est pas toujours possible : par exemple, lorsque les plantations sont échelonnées dans le temps, les époques de floraison et fructification sont variables, et un traitement individuel des espèces est nécessaire.

Dans les agroforêts traditionnelles, différentes combinaisons entre espèces sont testées, et on note l'emploi de phytopratiques spécifiques. Par exemple, les paysans cultivent des plantes insecticides ayant les propriétés du pyrèthre dans leurs parcelles, et utilisent l'action combinée des espèces animales et végétales pour éliminer les agents pathogènes. Chez les indiens Kayapo, des nids de fourmis aztèque sont déposés dans les jardins de case, afin de chasser les fourmis manioc.

Les cycles biologiques des espèces peuvent être très différents

— la phase non productive peut varier de moins de un an (cultures annuelles), à plus d'une dizaine d'années (fruitiers, espèces fournissant du bois d'œuvre) ;
— les périodes de production peuvent être cycliques, annuelles ou pluriannuelles, ou irrégulières, brèves ou d'une durée de plusieurs mois, continues (résines) ou dépendantes du mode de gestion du peuplement (bois d'œuvre) ;
— l'association d'espèces dont les cycles biologiques sont très différents, peut être bénéfique si elle est judicieuse et cohérente.

Un temps d'investissement long, dû à un délai d'entrée en production important, peut être réduit par la présence d'une espèce à croissance rapide.

L'organisation des différents rythmes de production permet d'étaler sur toute l'année les périodes de récolte, donc les besoins en main-d'œuvre et les revenus. Certaines espèces qui peuvent être récoltées « à la demande », comme le bois d'œuvre, la cannelle, certaines résines, sont à cet égard très intéressantes pour réduire les problèmes de calendrier cultural et de trésorerie.

L'introduction d'un système agroforestier ou sa modification peuvent avoir des effets à long terme (au-delà de 25 ans) sur le fonctionnement écologique, économique et social de l'exploitation agricole. Inversement, ces systèmes seront influencés et devront s'adapter à l'évolution de l'environnement économique et social au-delà d'une décennie. Ainsi, il apparaît nécéssaire d'envisager un projet agroforestier dans une perspective à long terme, ce qui représente une difficulté non négligeable.

4.3. Fonctions multiples des systèmes agroforestiers

Certaines espèces sont elles-mêmes à usage multiple. Il est commode de distinguer trois types de fonctions :

Les fonctions économiques

Il s'agit de la fourniture de produits autoconsommés, de revenus monétaires, ou des deux à la fois, dans des proportions variables.

Les plantes pérennes fournissent de nombreux produits utilisables : fleurs, fruits, graines, bois, écorces, feuilles, racines, tubercules, sèves, exsudations, fibres, tanins...

Elles remplissent différentes fonctions : production de bois, résines, latex, huiles, fourrage ; alimentation ; médicaments ; produits à usage technologique...

Les fonctions écologiques

— conservation de ressources naturelles : l'agroforêt peut faire office de réserve génétique ;
— diminution des risques écologiques par :

. Le maintien d'une biomasse et d'une diversité spécifique proche de celles du milieu d'origine (diversification des niches écologiques, des strates exploitées, et des espèces présentes).

. La mise à disposition de ressources inutilisées ou perdues dans les systèmes de monoculture.

Le tableau suivant présente quelques potentialités de l'agroforêt, susceptibles de résoudre des problèmes écologiques.

Fonctions et potentialités de l'agroforesterie

PROBLÈMES ÉCOLOGIQUES	FONCTIONS ET POTENTIALITÉS
Erosion du sol par l'eau	Effets combinés de couverture et de barrière par les essences arborées. Fixation du sol par les racines.
Erosion du sol par le vent	Brise-vent, haies : protection.
Faible fertilité du sol ou déclin de la fertilité (dégradation physique, chimique, biologique)	Plantation d'espèces arborées permettant : — le maintien de la capacité de rétention en eau, et de la fertilité du sol — la fixation d'azote — la fixation de CO_2 et son transfert vers le sol via la litière et les racines — la création d'un ombrage — le recyclage des éléments minéraux, et leur utilisation par les différentes strates de végétation.
Dégradation de la forêt	Plantation d'essences appropriées dans les exploitations agricoles.
Dégradation des pâturages	Arbres fourragers : pâturage sous couvert arboré.
Risques d'inondation	Arbres à racines profondes. Pratiques agroforestières visant à modifier le micro-climat et à conserver les micro-organismes.
Modification du débit des fleuves	Agroforesterie comme élément de protection des bassins versants.
Invasion d'agents pathogènes	Combinaison d'arbres destinés à inhiber l'action des agents pathogènes.

Les fonctions sociales

Elles sont liées à la fourniture de services destinés à la collectivité : espèces marquant les limites de propriété individuelle ou collective, espèces végétales gérées collectivement et dont la présence favorise la cohésion sociale...

Remarques

Les fonctions écologiques et sociales sont le plus souvent non marchandes, et sont presques toujours laissées de côté, à tort, lorsqu'on évalue la productivité d'une parcelle agroforestière. Il peut être intéressant alors, d'utiliser une méthode d'évaluation multicritère, intégrant des critères qualitatifs qui décrivent les fonctions écologiques et sociales des systèmes agroforestiers (cf. chap. V).

4.4. Place des agroforêts dans les systèmes de production agricoles

— un système agroforestier n'est, le plus souvent, qu'un élément de l'exploitation agricole, souvent associé à d'autres systèmes de culture ou d'élevage, comme la riziculture irriguée, l'élevage caprin intensif. Son étude ne doit pas être dissociée de l'ensemble du système de production ;

— les questions concernant la valeur de l'agroforesterie, ses potentialités et ses contraintes, trouvent parfois leurs réponses en dehors du système agroforestier, au niveau de l'exploitation agricole ou forestière, ou dans l'organisation des groupes sociaux par exemple. Ceci est vrai pour tous les systèmes de culture et d'élevage, mais se trouve accentué pour les systèmes agroforestiers du fait de leurs caractéristiques particulières ;

— les interactions entre le système agroforestier et le milieu naturel sont parfois essentielles pour la survie et la régénération du système, et doivent être prises en compte ;

— en raison de la présence de plantes pérennes dont la durée de vie peut être très longue, et de l'association de productions agricoles et forestières, la gestion et l'exploitation des agroforêts concernent différents niveaux de décision, qui auront chacun leur propre stratégie face aux agroforêts. Des individus, des groupes sociaux, des administrations peuvent être concernés simultanément.

5. LE DÉVELOPPEMENT DE L'AGROFORESTERIE : CONDITIONS PARTICULIÈRES

On supposera ici que dans la zone où pourrait s'implanter un projet agroforestier, les systèmes de production agricoles et forestiers sont connus, et leurs contraintes identifiées. En raison des particularités des systèmes agroforestiers, d'autres aspects doivent être également étudiés, en particulier :

— les partenaires concernés par un éventuel projet agroforestier et leurs objectifs ;
— l'attitude des populations locales face aux plantes pérennes ;
— la localisation du projet agroforestier ;
— les effets écologiques de l'implantation d'une agroforêt sur le milieu naturel ;
— les implications économiques ;
— les implications sociales ;
— l'aménagement des parcelles agroforestières ;
— les conditions techniques requises ;
— l'évaluation *ex ante* du projet agroforestier, par les différents partenaires concernés.

5.1. Les partenaires d'un projet agroforestier

Ces partenaires peuvent être :

— des individus, exploitants agricoles ou forestiers ;
— des groupes d'individus : famille de l'exploitant, groupe d'exploitants ;
— une communauté paysanne, une collectivité locale, décidant de l'aménagement local, du mode de mise en valeur du terroir ;
— une administration chargée des forêts, de l'agriculture, etc. ;
— des entreprises para-publiques, ou privées ;
— des organismes de développement, multinationaux, type ONG...

Les partenaires peuvent être concernés à différents niveaux :

— production agricole et/ou forestière ;
— allocation des ressources nécessaires à la production ;
— gestion à long terme des terres, des arbres, d'un patrimoine collectif, des ressources naturelles ;
— aménagement du territoire, protection des forêts ;
— développement local ;
— organisation de la commercialisation, du transport des produits agricoles et forestiers.
— Voir pour chaque partenaire identifié, quels sont les objectifs d'un éventuel projet agroforestier (fonctions souhaitables de l'agroforêt, adaptation du projet aux contraintes identifiées).

5.2. Attitude des populations locales face aux plantes pérennes

— origine des plantes pérennes présentes sur la zone et causes de leur disparition ou de leur absence ;
— interdits et tabous dont elles font l'objet ;
— fonctions écologiques, économiques et sociales de ces plantes et de leurs produits, degré de dépendance des populations locales vis-à-vis de ces produits.

Classification des plantes pérennes par les populations locales en espèces « nuisibles » et « utiles ». La classification, subjective, dépend de conditions particulières (densité, association, priorité dans les utilisations) : au Brésil, l'**Euterpe oleracea,** dont le cœur et les fruits sont utilisés pour l'alimentation, est considéré comme nuisible, lorsqu'il se trouve en trop grande quantité, à proximité du cacao.

5.3. Localisation du projet agroforestier

Rappel : un système agroforestier peut être élaboré à partir d'un système de culture de plantes annuelles, ou à partir d'un espace forestier.

L'espace rural agricole ou forestier devra être décomposé en unités homogènes du point de vue des données écologiques et des modes d'utilisation par :

— l'identification des unités de paysage homogènes du point de vue des conditions écologiques : tous les espaces inclus dans une unité sont supposés réagir de façon identique à un mode donné de mise en valeur ou d'aménagement, agricole, forestier, ou agroforestier. Exemples : sommets de collines au sol lessivé, pentes abruptes orientées au Nord, bas-fonds inondés...

— l'établissement d'une mosaïque forestière, précisant le degré d'hétérogénéité du milieu : délimiter des unités homogènes de végétation caractérisées par :

1) le couvert forestier ;
2) la structure et la densité des strates ;
3) le niveau de réitération des essences arborées ;
4) l'inventaire spécifique et variétal des espèces présentes.

On peut utiliser pour cela la méthode des profils architecturaux :

— identification des unités homogènes du point de vue du mode d'utilisation : des enquêtes ethnobotaniques seront alors nécessaires pour déterminer les différents niveaux de mise en valeur :

1) agricole : repérage des systèmes de culture caractérisés par les productions, animales et/ou végétales, leur ordre de succession, et les itinéraires techniques qui leur sont associés ;

2) forestière : estimation du degré d'exploitation, identification des modalités d'aménagement ;

— traitement de la végétation « en masse » : fréquence des traitements, surfaces, strates ;

— traitement du végétal « individuel » : repérer les espèces éliminées, tolérées, favorisées ; identifier les techniques appropriées.

Mise en valeur de la végétation spontanée et de la faune par la cueillette et la chasse, sans système de culture : mécanismes naturels de régénération de la végétation et de la faune utilisés par les populations locales.

L'absence d'aménagement, temporaire (jachère), ou durable, sera noté ;

— puis identification des facettes paysagères à partir des unités écologiques et des unités de mise en valeur précédemment recensées. Des systèmes de culture ou des systèmes d'exploitation et d'aménagement

forestier seront dissociés en plusieurs facettes paysagères s'ils s'appliquent à plusieurs unités écologiques différentes.

5.4. Questions accompagnant le choix des espèces à introduire dans un projet agroforestier

L'implantation d'un système agroforestier dans un système de culture ou dans une forêt peut se décomposer en cinq phases :

— phase de choix et de propagation du matériel végétal ;
— phase de plantation ;
— phase juvénile ;
— phase mature et productive ;
— phase de sénescence et de remplacement.

Chacune de ces phases soulève des questions spécifiques, d'ordre technique, économique, social, ou concernant l'aménagement de la parcelle et son insertion dans l'environnement socio-économique et naturel.

5.4.1. QUESTIONS TECHNIQUES

Phase de propagation et de choix du matériel végétal :

— espèces locales ou introduites (conséquences sur la propagation du matériel) ;
— méthodes possibles de propagation du matériel végétal (semence, bouturage, marcottage, bulbe, tubercule, etc.). Semis naturel ou artificiel ? ;
— espèce monoïque ou dioïque, homozygote ou hétérozygote ;
— conséquences sur l'organisation spatio-temporelle de l'association agroforestière, sur la production de matériel génétique par l'exploitant lui-même, et sur les possibilités d'amélioration du matériel végétal ? :

1) problèmes de stockage, de conservation et de germination des graines ;

2) conditions d'innoculation (Rhizobium, Mycorrhizes), de marcottage et de bouturage ;

3) maladies particulières du matériel végétal et problèmes phytosanitaires pour les jeunes plants ;

4) le passage en pépinière, suivi d'un repiquage est-il nécessaire, intéressant, techniquement réalisable (durée optimale de cette phase) ?

Phase de plantation :

— conditions écologiques requises pour réussir la plantation : prévoir des techniques particulières assurant la conservation de la fertilité des sols, l'irrigation, l'ombrage, taille optimale du plant... ;
— problèmes phytosanitaires et protection contre les animaux (bétail).

Phase juvénile :

— réaction de la plante aux techniques de taille, à la conduite sur tuteur ;
— les besoins en eau, ombrage, fertilisants... ;
— maladies et déprédation par les troupeaux ;
— croissance de l'espèce et délai d'entrée en production.

Phase mature et productive :

— cycles de production et périodes de récolte ;
— rendement et variabilité interannuelle d'un arbre à l'autre ;
— besoins d'entretien, d'irrigation, de fertilisation... ;
— risques de maladies, de déprédation sur la fleur, les fruits, la plante.

Phase de sénescence et de renouvellement :

— âges de la sénescence, durée ;
— techniques d'enlèvement de l'arbre, de récolte du bois ;
— maladies particulières au moment de la coupe ;
— préparation du sol pour le remplacement de la plante ;
— prévoir des techniques de protection des sols contre l'érosion durant la phase de transition.

5.4.2. QUESTIONS RELATIVES A L'AMÉNAGEMENT DE LA PARCELLE

Phase de propagation :

— localisation de la pépinière.

Phase de plantation :

— aménagements du site préalables à la plantation : diminution partielle ou totale des espèces locales spontanées, brûlis... ;
— plantation au milieu d'une culture annuelle ou entre deux cyles de culture (problèmes de concurrence pour l'espace, les nutriments du sol, l'eau, la lumière...).

Phases juvénile, mature et productive :

— morphologie de la plante, durant la phase de croissance, au stade adulte (niche écologique occupée) ;
— concurrence avec d'autres plantes, au niveau de la partie aérienne, ou du système racinaire, et autres interactions : comment aménager la parcelle et l'association végétale pour réduire cette concurrence ?

Phase de sénescence et de renouvellement :

— cycle de reproduction des espèces, et des peuplements : problème du renouvellement pour une production continue et/ou le maintien d'un couvert arboré.

5.4.3. QUESTIONS ÉCONOMIQUES

Phase de propagation :

— circuits d'approvisionnement du matériel végétal (achat, réalisation de pépinières...) ;
— moyens de stockage, de conduite de pépinières et de protection du matériel végétal :
1) connaissances et savoir-faire technique,
2) moyens matériels,
3) moyens financiers,
4) main-d'œuvre disponible et compétente.

Phase de plantation et phase juvénile :

— coûts engendrés par la plantation et l'entretien des plants en croissance ;
— disponibilité (existence) des moyens nécessaires (irrigation, fertilisants, ombrage...) et résultats attendus ;
— insertion des travaux nécessaires à la plantation, l'entretien, la protection des plants dans le calendrier annuel de l'exploitant et de la main-d'œuvre ;
— conditions de compatibilité et d'acceptation des plantations dans un pâturage (croissance lente, protection, production).

Phase mature et productive :

— besoins de la plante productive : maintenir un niveau de rendement intéressant, et récolter dans de bonnes conditions (connaissance et savoir-faire, main-d'œuvre et capacité de financement) ;
— compatibilité des périodes de récoltes et d'entretien entre les différentes espèces de l'association ;
— organisation et importance des circuits de commercialisation et adaptation des rythmes de récolte (volume obtenu, stockage).

Phase de sénescence et de renouvellement :

— coût d'enlèvement des plantes ;
— effets de l'enlèvement des plantes sénescentes sur le rendement de la parcelle (source alternative de revenus et crédit spécial pendant la phase transitoire à prévoir).

Pour répondre aux questions économiques, on pourra réaliser des profils annuels ou pluriannuels du fonctionnement des agroforêts et de leur insertion dans l'exploitation agricole.

Ces profils peuvent montrer la contribution des systèmes agroforestiers à :

— la répartition de l'emploi de la main-d'œuvre sur l'année ;
— la satisfaction des besoins en combustible, en fourrages, en aliments, en revenus monétaires ;
— la création de goulot d'étranglement au niveau de la main-d'œuvre ou de toute autre ressource ;

— la réduction des périodes de soudure pour l'approvisionnement en fourrage, aliments, combustibles... ;
— l'équilibre de la trésorerie.

Ces profils, spécifiés pour chaque production, peuvent concerner :
— le calendrier cultural, précisant les catégories de main-d'œuvre employée (homme, femme, enfant) et son origine (familiale, salariée, autre...) ;
— le calendrier des besoins en ressources, précisant le type de ressource (eau, fertilisants...) et son origine (auto-approvisionnement, achat, autre...) ;
— le calendrier des revenus monétaires, et celui des dépenses liées aux cultures ;
— le calendrier d'approvisionnement en combustible, en fourrage et en produits alimentaires.

5.4.4. QUESTIONS SOCIALES ET ORGANISATIONNELLES

Phase de propagation du matériel :

— localisation et organisation des pépinières (individuelles, collectives, centrales) ;
— appropriation par les exploitants des techniques de propagation et des techniques de stockage du matériel végétal, d'entretien et de protection des plants.

Phase de plantation :

— appropriation des terres et des arbres par l'exploitant (disponibilité et sécurité foncière) ;
— gestion de la plante et de ses productions : niveau individuel, collectif, villageois, par l'administration ;
— lois successorales appliquées aux plantes pérennes ;
— organisation du travail de plantation : travail collectif, salarié...

Phase juvénile, phase mature et productive :

— probabilités d'adoption des techniques d'entretien, de taille, d'irrigation, de fertilisation nécessaires à une bonne conduite des plantes pérennes.

Phase de sénescence et de renouvellement :

— à qui revient la décision d'abattage et d'enlèvement de l'arbre en sénescence et de son renouvellement ? ;
— motivations des décideurs ;
— répartition de la production finale (le bois).

5.4.5. QUESTIONS RELATIVES A L'INSERTION DE L'AGROFORÊT DANS L'ENVIRONNEMENT NATUREL

— Choix du système agroforestier le mieux adapté au milieu naturel (permettant un maintien relatif de la biomasse, de la diversité spécifique et de la structure du milieu d'origine) ;

— analyse des interactions biotiques (les échanges d'espèces animales et végétales) entre le milieu naturel et le système agroforestier ;
— fonction du système agroforestier dans le paysage (localisation judicieuse en regard des objectifs).

5.4.6. ÉVALUATION EX ANTE DU PROJET AGROFORESTIER

— Toute méthode d'évaluation peut être utilisée, mais sera difficile à appliquer, du fait de la présence de plantes pérennes, de la multiplicité des fonctions de l'agroforêt, et parmi elles, des fonctions non marchandes ;
— on pourra également soumettre à tous les partenaires du projet une grille d'évaluation multicritère, portant sur différentes variantes du projet, en y incluant éventuellement une « variante non agroforestière » ;
— six critères principaux sont retenus dans cette grille :
1) productivité ;
2) sécurité ;
3) satisfaction d'objectifs autres que l'amélioration de la productivité et de la sécurité ;
4) reproductibilité du système agroforestier à long terme et maintien des capacités productives du sol ;
5) adaptabilité dans le moyen et le long terme aux variations de l'environnement écologique, économique et social ;
6) adoptabilité par le partenaire interrogé.

EX ANTE EVALUATION D'UN PROJET AGROFORESTIER PAR LA MÉTHODE MULTICRITÈRE

Seront soumises à l'évaluation de chaque partenaire concerné par le projet, plusieurs variantes de ce projet.

CRITÈRES D'ÉVALUATION	VARIANTES 1 2 3	NOTE ATTRIBUABLE
Productivité		
Satisfaction des besoins ou des objectifs premiers		0 à 10
Satisfaction des besoins ou des objectifs seconds		0 à 5
Réduction des contraintes liées à la production		
— Contrainte principale :		0 à 10
— Autres contraintes :		0 à 5
Amélioration de la gestion et de l'exploitation des ressources		
— Facteur limitant principal		0 à 5
— Autres facteurs limitants		0 à 3

CRITÈRES D'ÉVALUATION	VARIANTES 1 2 3	NOTE ATTRIBUABLE
Sécurité		
Régularité des productions principales		0 à 5
Régularité des productions secondaires		0 à 3
Degré de diversification des productions		0 à 3
Degré de diversification des débouchés		0 à 3
Risques phytosanitaires		0 à 3
Risques écologiques		0 à 3
Satisfaction d'autres objectifs		
— Intégration sociale		0 à 3
— Autonomie financière		0 à 3
Reproductivité		
Fonctions écologiques principale		0 à 10
Fonctions écologiques secondaires		0 à 5
Adaptabilité		
aux variations prévisibles de l'environnement :		
— économique		0 à 5
— social		0 à 5
— écologique		0 à 5
— démographique		0 à 5
— technologique		0 à 5
Compatibilité avec d'autres projet de développement sur la zone		0 à 10
Adoptabilité		
— Emploi de ressources disponibles ou faciles d'accès		0 à 5
— Emploi de technologies connues ou faciles à acquérir		0 à 5
— Délai d'entrée en production		0 à 5
— Adoptabilité par toutes les catégories sociales ciblées		0 à 5
— Adoptabilité par le partenaire interrogé		0 à 10
Evaluation par critère		
Productivité		0 à
Sécurité		0 à
Autres objectifs		0 à
Reproductibilité		0 à

CRITÈRES D'ÉVALUATION	VARIANTES 1 2 3	NOTE ATTRIBUABLE
Adaptabilité		0 à
Adoptabilité		0 à
Evaluation globale		**0 à**

LÉGUMINEUSES PÉRENNES UTILISÉES EN AGROFORESTERIE

NOM	SYSTÈME	RÉGION
Acacia albida	ASP AS SP	aride ; semi-aride
Acacia auriculiformis	AS	humide ; sub-humide
Acacia mearnsii	AS	tropicale > 1 200 m
Acacia senegal	AS SP	aride ; semi-aride
Acacia seyal	AS SP	aride ; semi-aride
Acacia tortilis	AS SP	aride ; semi-aride
Albizia falcataria	AS	humide ; sub-humide
Albizia lebbeck	AS SP	humide ; sub-humide
Albizia stipulata	SP	tropicale d'alt.
Alnus acuminata	AS SP	tropicale d'alt.
Andira inermis	AS	humide ; sub-humide
Cajanus cajan	AS	aride ; semi-aride ; humide ; sub-humide
Calliandra calothyrsus	AS ASP SP	humide ; sub-humide
Cassia siamea	AS ASP	humide ; sub-humide ; aride ; semi-aride
Ceratonia siliqua	SP	aride ; semi-aride
Colophospermum mopane	SP	aride ; semi-aride
Dalbergia sissoo	SP	tropicale d'alt.
Derris indica	AS SP	aride ; semi-aride
Diphysa robinioides	AS	humide ; sub-humide
Enterolobium cyclocarpum	SP	humide ; sub-humide
Erythrina abyssinica	SP ASP	tropicale d'alt.
Erythrina poeppigiana	AS	humide ; sub-humide
Gliricidia sepium	AS SP ASP	humide ; sub-humide
Inga edulis	ASP	humide ; sub-humide
Inga jinicuil	AS	humide ; sub-humide
Inga vera	AS	humide ; sub-humide
Lespedeza bicolor	AS SP	humide ; sub-humide
Leucaena leucocephala	AS SP ASP	humide ; sub-humide
Leucaena esculenta	AS	humide ; sub-humide
Parkia biglobosa	AS	humide ; sub-humide
Parkia clappertonia	AS	humide ; sub-humide
Parkia speciosa	AS	humide ; sub-humide
Pithecellobium dulce	AS SP	aride ; semi-aride

Prosopis africana	AS	humide ; sub-humide
Prosopis chilensis	SP	aride ; semi-aride
Prosopis cineraria	AS SP	aride ; semi-aride
Prosopis juliflora	AS SP	aride ; semi-aride
Prosopis tamarugo	AS SP	aride ; semi-aride
Pterocarpus soyauxii	AS ASP	humide ; sub-humide
Samanea saman	SP ASP	humide ; sub-humide
Sesbania bispinosa	AS SP ASP	aride ; semi-aride
Sesbania grandiflora	AS SP ASP	humide ; sub-humide
Tamarindus indica	AS	humide ; sub-humide
Trema orientalis	AS	humide ; sub-humide tropicale d'alt.

AS : agro-sylvicole SP : sylvo-pastoral ASP : agro-sylvo-pastoral

ESPÈCES PÉRENNES UTILISÉES EN AGROFORESTERIE

- **Liste des usages**

1 à 6 : ALIMENT :
- 1 : fruit
- 2 : graine
- 3 : légume
- 4 : huile
- 5 : féculent
- 6 : condiment

7 à 10 : ALIMENTATION ANIMALE :
- 7 : feuille
- 8 : fruit ; graine ; gousse
- 9 : pousse
- 10 : plante mellifère

11 à 16 : BOIS
- 11 : bois de feu
- 12 : charbon de bois
- 13 : bois d'œuvre
- 14 : ustensile ; outil
- 15 : bois de sciage
- 16 : autres

17 à 23 : SERVICES
- 17 : brise-vent
- 18 : haie vive
- 19 : conservation des sols
- 20 : fixation des dunes
- 21 : fixation d'azote
- 22 : fertilisant organique
- 23 : paillis

24 à 31 : AUTRES USAGES :
- 24 : cire
- 25 : huiles essentielles
- 26 : tannin ; teinture
- 27 : gomme
- 28 : fibre
- 29 : plante médicinale
- 30 : usage culturel ou rituel
- 31 : plante ornementale

- **Afrique de l'est et du centre**

Acacia albida : 7 8 9 10 11 13 14 17 19 20 21 22 26 31
A. mellifera : 7 8 9 10 11 12 21
A. senegal : 7 8 9 10 11 12 13 14 19 20 21 26 27
A. seyal : 7 8 9 10 11 12 19 21
A. tortilis : 7 8 9 10 11 12 13 14 19 20 21 26 29 31
Adansonia digitata : 1 3 8 14 26 28 29 30
Anacardium occidentale : 1 2 8 10 11 19 23 25 26 27

Balanites aegyptiaca : 1 7 9 11 13 14 29
Borassus aethiopium : 1 3 13 14
Butyrospermum parkii : 1 4
Cassia siamea : 11 13 14 17 19
Casuarina equisetifolia : 11 12 13 14 17 19 20 23 26
Catha edulis : 7 11 13 14 29 30
Cordeauxia edulis : 2 7 19 26
Euphorbia tirucalli : 11 17 18
Mangifera indica : 1 6 8 11 29 31
Prosopis chilensis : 1 7 8 9 11 13 14 17 19 20 21
P. juliflora : 1 8 10 11 12 17 21
Rhus tenuinervis : 1 7 9 11 13 29
Terminalia brownii : 7 9 13 14 29
Zizyphus mauritiana : 1 7 8 11 12 14 18 26

- **Afrique de l'ouest**

Acacia albida : 7 8 9 10 11 12 13 14 19 20 21 22 26 31
A. senegal : 7 8 9 10 11 12 13 14 19 20 21 26 27
A. seyal : 7 8 9 10 11 12 19 21
A. tortilis : 7 8 9 10 11 12 19 20 21 26 29 31
Balanites aegyptiaca : 1 3 4 7 8 9 11 13 14 29
Borassus aethiopium : 1 3 13 14
Cassia siamea : 11 13 14 17 19
Ceratonia siliqua : 1 2 8 19 21 27 31
Chrysophyllum albidum : 1 11 12 13 29
Cola acuminata : 2 7 9 30
Dacroydes edulis : 1 7 8 30
Elaeis guineensis : 1 4 13 14 30
Euphorbia balsamifera : 17 18 19
E. tirucalli : 11 17 18 19
Ficus capensis : 3 7 8 11
Garcinia cola : 2 4 13 14 29
Gliricidia sepium : 7 11 13 14 18 19 21 22
Irvingia gabonensis : 1 2 6 11 13 14 29
Leucaena leucocephala : 7 8 10 11 12 19 21 22
Parkia biglobosa : 1 3 4 7 8 21 22
Parkia speciosa : 1 3 7 8 19 21
Pterocarpus milbredii : 3 7 13 14 15
Raphia spp. : 1 2 13 25
Spondias mombin : 1 7 13 14 18 19
Tamarindus indica : 1 2 3 7 8 9 10 11 13 14 29 31
Sterculia africana : 1 2 7 8 11 16 29
Zizyphus mauritiana : 1 7 8 11 12 13 14 18 19 20 26
Z. spina-christi : 7 8 11 12 13 14 17 18 19 20

- **Afrique du nord méditerranée Moyen-Orient**

Acacia aneura : 7 9 11 13 14
A. ligulata : 7 9 11
A. mellifera : 7 8 10 11 21 27
A. saligna : 7 11 17 20 27
A. seyal : 7 8 11 13 14 19 20 21 27
A. tortilis : 7 8 11 12 13 14 19 20 21 31
Arbutus unedo : 7 19
Atriplex halimus : 3 7 19 20
Balanites aegyptiaca : 1 7 11 13 14
Cassia aturtii : 7 9 11 19 21
Ceratonia siliqua : 1 8 10 11 17 19 21 27 29 31
Chenopodium auricommum : 4 7 19
Eleagnus angustifolia : 7 11 13 19
Fraxinus oxyphylla : 7 11
Gleditsia triacanthos : 7 8 11 13 19
Haloxylon aphyllum : 7 11 12 17 19 20
H. persicum : 7 9 11 12 19 20
Morus alba : 1 7 8
Olea europaea : 1 4 7 11 29 30
Pistachia palaestina : 2 7 26
Prosopis juliflora : 1 8 10 11 12 13 14 21 24 26 27 28
Quercus calliperinus : 7 8 13 14
Q. coccifera : 7 8 13 14
Q. ilex : 7 8 13 14
Rhus trilobata : 1 4 26 28
Ulmus campestris : 7 11 17 31
Zizyphus lotus : 7 11 18 19 20
Z. spina-christii : 3 7 8 11 18 19 20

- **Amérique tropicale**

Acacia cyanophylla : 7 8 11 17 19 20 27
Albizia lebbeck : 11 12 13 21 22 27
Alnus acuminata : 11 13 15 16 19 21
A. jorrullensis : 11 13 15 21 23
Anacardium occidentale : 1 2 4 8 11 19 23 25
Bactris gassipaes : 1 2 13 14
Brossimum alicastrum : 1 2 3 7 8
Calliandra calothyrsus : 7 11 19 21 22 31
Croton sonderianus : 25
Elaeis guineensis : 2 4 13 14
Erythrina berteroana : 18 21
E. poeppigiana : 18 21 31
Gliricidia sepium : 7 10 11 13 14 15 18 22 31
Inga edulis : 10 21
Inga vera : 19 21
Larrea spp : 18 19 24 25 29

Leucaena leucocephala : 2 3 7 8 9 10 11 12 13 17 18 19 21 22 29
Mimosa scabrella : 11 16 19 21 22 31
Mutingis calabura : 1 8 11 14 28 31
Parkinsonia aculeata : 2 7 8 9 11 12 19 31
Pithecellobium dulce : 1 4 7 8 10 17 21 26 27
Prosopis alba : 7 8 11 13 14 17 19 21
P. chilensis : 7 8 11 13 14 19 21 31
P. juliflora : 1 7 8 10 11 12 13 14 19 21
P. pallida : 7 8 10 11 12 13 14 19 21
Simmondaia chinensis : 19 24 29
Yucca elephantibea : 13 18

- **Asie du sud**

Acacia albida : 7 8 9 10 11 14 19 21 22 26 27 31
A. auriculiformis : 7 11 12 13 14 16 19 21 22 23 26 27 31
A. mearnsii : 11 12 19 21 22 26
A. nilotica : 7 8 10 11 12 14 20 26 27 29 31
A. senegal : 2 7 8 9 10 11 12 13 14 17 19 21 22 27
A. tortilis : 7 8 9 10 11 12 13 14 19 20 21 31
Ailanthus excelsa : 7 9 11 17 19
Albizia falcataria : 7 11 15 16 21
A. lebbeck : 11 13 14 17 19 21 22 26 27 31
A. mollis : 7 11 13 21
Anacardium occidentale : 1 2 8 10 11 19 23 25
Areca cacachu : 2 13 14 30
Artocarpus heterophyllus : 1 2 7 13 14 31
Azadirachta indica : 7 11 13 14 17 22 23 25 26
Balanites aegyptiaca : 1 3 4 7 11 13 14 29
B. roxburghii : 1 7 11 13 14 29
Boehmeria rugulosa : 7 11 13 14 19 28
Borassus flabellifer : 3 4 5 11 13 14 17 19 23 28 30
Cassia siamea : 7 8 11 17 22 23 31
Casuarina equisetifolia : 11 12 13 14 17 19 20 26 31
Celtis australis : 1 4 7 11 13 19
Ceratonia siliqua : 1 3 5 8 11 19 21 26 27 29
Cordia dichotoma : 1 7 11 12
Derris indica : 7 11 22 28 29
Emblica officinalis : 1 7 8 11 14 22 25 28 29
Erythrina arborescens : 7 11 14 21
Gliricidia sepium : 3 7 8 10 11 13 14 17 18 19 21 22 31
Gmelina arborea : 7 10 11 12 13
Grewia oppositifolia : 7 11 13 14 19
Kydia calycina : 7 11 12 13 15
Leucaena leucocephala : 7 9 10 11 12 13 17 19 21 22
Mangifera indica : 1 8 11 14 29
Moringa oleifera : 1 3 4 7 13 14 29
Morus alba : 1 7 11
Parkia orxburghii : 3 7 11 14 15 19 26 29 31

Populus cilista : 7 11 13 14 15 19
Prosopis chilensis : 1 7 8 9 11 13 14 17 18 19 20 21 31
P. cineraria : 7 8 11 12 13 14 20 21
P. juliflora : 1 4 7 10 11 12 14 26 27 28 29
Quercus incana : 7 8 11 13 14 29
Q. lamellosa : 7 8 11 13 14 29
Salvadora oleiodea : 1 4 7 11 12 14
Schima vallichi : 7 11 13 14
Sesbania grandiflora : 1 3 7 8 11 16 17 18 19 22 26 27
Syzygium ciminii : 1 10 11 13 14 17 26 31
Tamarindus indica : 1 2 3 4 7 8 11 12 13 14 15 22 27 29 31
Zizyphus mauritiana : 1 7 8 11 12 14 18 19 26 29
Z. nummularia : 1 7 8 11 18 19 29

- **Asie du sud est**

Acacia auriculiformis : 11 12 13 16 26 31
Ailanthus altissima : 11 12 13 15 17 19
Albizia falcataria : 11 13 16 19 21 26 27 31
Anacardium occidentale : 1 2 8 19
Artocarpus heterophyllus : 1 2 3 7 8 11 23
Casuarina equisetifolia : 11 12 13 14 15 16 17 19 20 26
Durio zibethinus : 1 2
Eugenia aromatica : 6 25
Gliricidia sepium : 7 10 11 13 14 15 17 18 22
Galoxylon aphyllum : 7 11 17 19 20
Leucaena leucocephala : 2 3 7 10 11 12 13 15 17 19 21 22
Litsea odorifera : 25
Lychee sinensis : 1
Mangifera indica : 1 3 5 8 11 23 29 31
Nephelium lappaceum : 1 4
Parkia speciosa : 2 19 22
Pithecellobium dulce : 1 4 7 8 10 11 13 17 18 19 21 26 27 31
P. Jaringa : 2 5 21 25
Psidium guajava : 1 3 14
Sesbania bispinosa : 7 11 16 17 18 19 21 22 27 28
Syzigium aquea : 1 7 8 11
S. cumini : 1 7 8 10 11 13 14 17 26 31
Thea oleosa : 4 10 11 13 14 19 29

CHAPITRE XIV

PÉPINIÈRES ET PLANTATIONS

1. GÉNÉRALITÉS - IMPORTANCE DES ARBRES

1.1. Rôles multiples de l'arbre

Ses fonctions : depuis toujours l'arbre a joué trois rôles fondamentaux : économique (production de bois, fruits, fourrages et nombreux sous-produits telles les gommes...), écologique (protection des sols, lutte contre l'érosion éolienne et hydrique, fertilisant...) et social (ombrage, délimitation de parcelles, esthétique...).

Ses aspects : de par ses fonctions multiples, l'arbre peut s'inscrire dans le paysage de nombreuses façons : isolé, disséminé dans les champs, en bosquets, en formation naturelle étendue (bois, forêt), en plantation artificielle.

Son importance est capitale ; sa présence et son absence ont des répercussions dans le temps sur l'aspect du milieu et sur son devenir (économique, écologique, social), de plus en plus souvent à court terme (bois de feu, fertilité des sols, régime des eaux).

1.2. L'arbre dans l'aménagement de l'espace

Les différentes fonctions des arbres indiquent et reflètent la multiplicité des domaines mis en jeu lors d'un aménagement de territoire ; la gestion de l'espace rural implique donc une approche pluridisciplinaire prenant en compte l'arbre, l'agriculture, l'élevage, l'eau, le sol et le contexte social.

L'acte de planter un arbre, ou de réaliser un boisement, nécessite une volonté et une prise de conscience de l'importance de l'arbre (son rôle dans l'aménagement du milieu de vie) et donc ne fait que commencer une série de travaux nécessaires à la réussite de la plantation. Une grande attention et de multiples soins seront demandés par la suite pour que l'arbre ou le boisement puisse récompenser pleinement, quelques années après, l'énergie employée à planter. C'est pourquoi, avant la mise en pépinière et la plantation, une étude soigneuse est recommandée afin de déterminer :

— les buts de la plantation et les bénéficiaires,
— le choix des zones à reboiser,
— le choix des essences,
— le choix des techniques et des méthodes (participation).

2. PRÉALABLES AUX TRAVAUX DE PLANTATION

2.1. Définition des buts de la plantation

On peut retenir quatre grands objectifs qui sont souvent complémentaires :
— la protection (sols, cultures, mares, abri, brise-vent, haies vives...),
— la production (bois de feu, bois d'œuvre, gommes...),
— l'agrément (l'ombrage, la fourniture d'aliments et de produits de pharmacopée),
— l'intégration dans un aménagement agro-sylvopastoral.

Le choix des acteurs appropriés (bénéficiaires) et du site d'intervention dépendent aussi de ces objectifs. En fonction du ou des choix retenus, seront déterminée la taille de la pépinière, les essences, les techniques d'élevage, de plantation, d'entretien etc.

2.2. Étude du milieu

Une fois défini le but et localisé le site, il est nécessaire, avant d'entreprendre les travaux, d'étudier divers paramètres :
— **les facteurs climatiques :** pluviométrie (répartition, quantité), températures, vents, humidité atmosphérique... permettant de sélectionner les espèces et l'époque optimale de plantation,
— **les facteurs écologiques :** sol (richesse, profondeur, texture, structure), associations végétales (présence et dégradation), hydrologie (nappe),
— **les contraintes socio-économiques :** pression démographique, exploitation du capital ligneux (et consommation), vocation et potentialité des sols (cultures extensives), feu, pastoralisme...

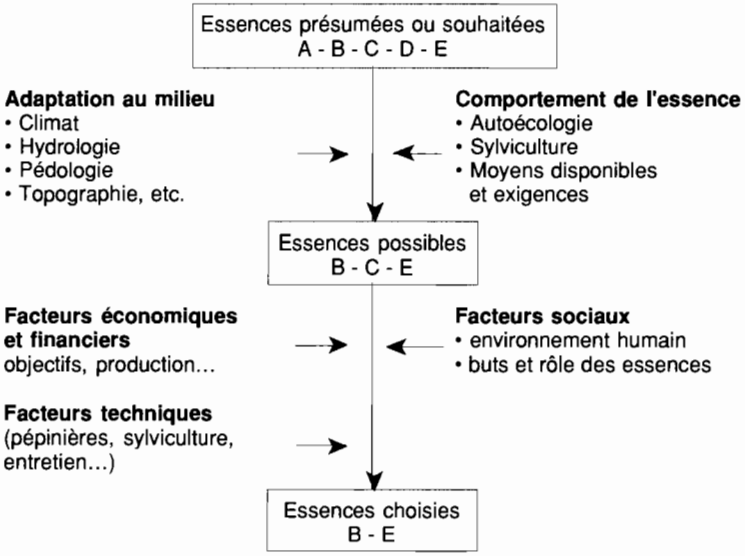
La prise en considération des contraintes sociales est déterminante pour la réussite de la plantation. Il est souhaitable, sinon indispensable , que la demande émane des villageois eux-même et que les populations intéressées soient vraiment motivées ; c'est à ce prix que l'on pourra éviter les mises en défens qui, bien qu'efficaces, se révèlent très coûteuses. Une parfaite adhésion aux objectifs sera généralement le fruit d'une action préalable d'information et de sensibilisation aux problèmes de l'environnement. Outre les coupes, le surpâturage et le défrichement, les feux de brousse constituent un grave danger contre lequel, en plus de la lutte active, l'éducation des populations joue un rôle important.

2.3. Choix des essences (voir *Mémento du forestier* pour la liste des essences adaptées à chaque station)

Dans les mêmes conditions de milieu et pour un même objectif de plantation, on peut choisir plusieurs essences, le mélange étant favorable, car il diminue le risque d'échec. On veillera cependant :
— à éviter un excès de petits boisements d'essences trop variées,
— à mélanger des espèces dont la compatibilité écologique et sylvicole n'est pas prouvée (concurrence).

On a très souvent rejeté les essences locales pour des raisons de croissance lente, de faible qualité technologique etc., pour leur préférer des essences introduites (eucalyptus, pins...). Cependant face aux avantages, mais aussi aux inconvénients des unes et des autres, il importe de ne pas restreindre *a priori* son choix par des exclusions abusives. On gardera à l'esprit que dans ce domaine il convient de s'aider d'expériences déjà réalisées et d'observations faites lors de l'étude du milieu. On tiendra également le plus grand compte des objectifs de la plantation et des aspects socio-économiques.

Schéma n° 1 : CRITÈRES DE SÉLECTION DES ESSENCES



3. LES TECHNIQUES DE PÉPINIÈRES

3.1. Les types de pépinières

— **Pépinières permanentes** : production importante (50 à 200 000 plants) pour une longue durée avec une organisation d'entreprise et un fonctionnement assez lourd.

— **Pépinières temporaires** : de l'ordre de quelques milliers de plants, pour une ou quelques saisons de plantation ; établies en général sur le lieu même de la plantation et donc adaptées aux quantités nécessaires, avec une infrastructure plus légère.

Exemple : les mini-pépinières, villageoises ou privées.

3.2. Choix de l'emplacement

La décision relative à l'emplacement d'une pépinière se fait en fonction des critères suivants :

— terrain plat (pente ⩽ 2 à 3 %) - bien drainé ;
— superficie disponible d'un seul tenant de préférence, en forme de carré ou rectangle peu allongé, correspondant à la production planifiée (avec possibilité d'extension) ;
— point d'eau permanent à proximité, et en abondance ;
— protection contre le vent et les écarts thermiques ;
— composition du sol adéquate à la culture ou similaire au sol du site de plantation (sinon la terre peut être apportée) ;
— proximité du lieu de plantation et d'un centre d'approvisionnement ;
— main-d'œuvre disponible.

3.3. L'aménagement de la pépinière

3.3.1. ÉQUIPEMENT ET DISPOSITION

Disposition :

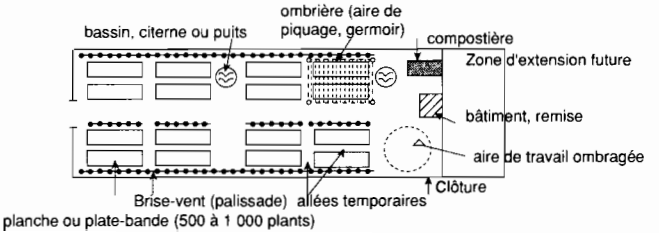
— nettoiement du terrain ;
— orientation et dessin des planches, de l'aire de stockage des plants, et des allées : toutes les planches (ou plates-bandes) doivent être accessibles (réseau d'allées permanentes et temporaires, prévues pour l'accès des véhicules) ;
— disposition des haies et brise-vent (pour limiter l'évapotranspiration), des conduites d'eau et fossés d'écoulement, des bâtiments et abris, des places de dépôts, d'une compostière et des germoirs ;
— clôture autour de la pépinière, prévoyant la possibilité d'extension future.

Équipement de base (à ajuster en fonction du type de pépinière) :

— arrosoirs, pulvérisateurs à eau et fût ou citerne (stockage de l'eau) ;
— houes, pelles et brouettes ;
— matériaux de construction des planches de semis, de repiquage et des ombrières (perches de bois, nattes, filets) ;
— sachets plastiques ;
— produits phytosanitaires ;

Pour une mini-pépinière, arrosoir, houe et sachets plastiques suffisent le plus souvent.

Schéma n° 2 : PLAN D'UNE PÉPINIÈRE



3.3.2. LE CALENDRIER DE LA PÉPINIÈRE

Il dépend de la zone géographique et de l'alternance des saisons, de la saison de plantation, de la levée des essences employées, de la durée d'élevage en pépinière, de la taille des plants à la plantation. Par exemple, la plupart des acacias restent 4 à 5 mois en pépinière, les eucalyptus 4 mois, l'*Azadirachta indica* (appelé neem) reste jusqu'à 2 ans...

La plantation se faisant à la saison des pluies (de préférence au début), on prévoit en général le calendrier suivant :

— **Fin de la saison des pluies** (précédant l'année de la plantation) : préparation de la pépinière, approvisionnement en semences, tests de germination, début des semis des essences à croissance lente.
— **Saison sèche** : semis des essences à croissance rapide, entretien des semis, repiquage, soins lors de l'élevage, sevrage des plants.
— **Saison des pluies** : - vidange échelonnée de la pépinière pour la plantation, poursuite des soins aux plants restants dans la pépinière en attendant leur plantation (notamment pour les plants nécessitant 2 ans en pépinière).
— Nettoyage de la pépinière pour la prochaine saison (ou abandon).

EXEMPLE DE CALENDRIER DANS DEUX ZONES D'AFRIQUE DIFFÉRENTES :

Activités	Zone sahélienne	Zone Afrique des grands lacs
Préparation des planches	sept - octobre	mars - avril
Remplissage des sachets	nov - décembre	avril - mai
Semis (essences lentes)	janvier	mai
Semis (essences rapides)	mars	juin - juillet
Repiquages et entretiens	avril	août
Plantation (à partir de)	juillet	novembre

Toutes ces indications sont relevées par essence et provenance et par planche ; elles sont inscrites sur le cahier de tenue de la pépinière.

3.4. Le semis

3.4.1. LES SEMENCES

— **Le succès** et la productivité d'une plantation dépendent essentiellement de la qualité des semences, aussi on y portera beaucoup d'attention.

— **La récolte**, elle se fait sous les beaux semenciers, vigoureux, avec les qualités désirées (technologiques,écologiques, économiques...) :

- des graines trop mûres peuvent avoir perdu de leur pouvoir germinatif (connaître les dates de fructification et de maturité des espèces),
- récolter sur l'arbre en évitant les plus faciles (bas fourchus...) de valeur génétique faible (travail délicat à réserver à des spécialistes),
- acquérir un lot de semences issu d'une zone de provenance écologique semblable au milieu où on veut l'utiliser,
- il existe des peuplements classés, sélectionnés pour leur qualité et où des

services compétents (organismes, services forestiers du pays) assurent les récoltes de graines.

— **Stockage et conservation :** Si les conditions s'y prêtent, il faut semer les graines juste après la récolte (exemple : neem). Sinon, les graines seront conservées dans un endroit frais et bien aéré, à l'abri de l'humidité, des insectes, rongeurs et champignons, afin de mieux garder leur pouvoir germinatif.

— **Traitement de la graine :** Certaines graines sont à conserver à l'état brut (anacardier, teck...). Les fruits charnus, eux, (gmelina, neem) doivent être dépulpés puis séchés à l'ombre.

— **Prétraitement des semences :** Un prétraitement avant le semis est aussi nécessaire à certaines essences à graines dures, pour lever la dormance et assurer une germination rapide et uniforme. Il existe plusieurs procédés suivant les espèces et la dureté des graines.

Les graines seront semées immédiatement après le traitement :

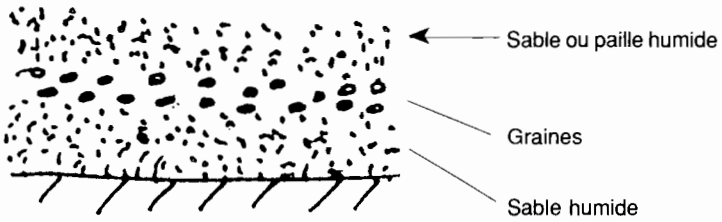
1) Biologique : récolter des graines ayant été ingurgitées par des animaux (par les chèvres surtout).
- Neem (*Azadirachta*)
- Balanites
- Baobab (avec les éléphants)
- *Prosopis juliflora*
- Tamarinier (*Tamarindus indica*)

2) Eau :
— immersion quelques minutes dans de l'eau bouillante, (ou même cuisson pendant 5 à 10 mn), puis refroidissement progressif,
— ou trempage 24 heures dans l'eau froide (ou tiède)
- Acacias
- Baobabs
- *Albizia lebbec*
- Balanites
- *Parkia biglobosa*
- *Prosopis africana*
- Tamarinier

3) Acide sulfurique :
— tremper les graines dans l'acide sulfurique concentré, plusieurs minutes selon l'essence (jusqu'à 30 mn),
— puis rincer à l'eau.
Il faut de la prudence pour manipuler cet acide.
Méthode efficace pour les vieilles graines et pour l'*Acacia albida* par exemple.

4) Mécanique :
— Abrasion ou scarification mécanique du péricarpe (ouvrir le tégument sans abîmer l'amande). On utilise un tambour (cylindre mécanique) rotatif aux parois rugueuses (papier de verre), ou encore un sécateur. Exemple : le baobab

5) Stratification : (méthode longue)
Il s'agit de laisser les graines dans un milieu humide



Pour des graines à longue dormance, ou à endosperme dur, la durée de stratification est très variable : pour *Ziziphus mauritiana*, elle dure 6 mois.

POIDS DES GRAINES (pour quelques espèces)

ESPÈCES	NOMBRES DE GRAINES AU KG (approximatif)
— *Acacia albida*	11 500 - 19 000
— *Acacia melanoxylon*	55 000
— *Acacia mearnsii*	59 000
— *Acacia Sénégal*	12 000 - 18 000
— *Acrocarpus fraxinifolius*	31 000
— *Adansonia digitata*	2 000 - 3 000
— *Albizia lebbeck*	7 700 - 10 000
— *Anacardium occidentale*	150 - 200
— *Araucaria cuninghamii*	2 200
— *Azadirachta indica*	1 800 - 4 000
— *Balanites aegyptiaca*	500 - 1 500
— *Butyrospermum parkii*	150 - 300
— *Callitris calcarata*	132 000
— *Callitris robusta*	77 000 - 121 000
— *Cassia siamea*	37 000
— *Casuarina equisetifolia*	660 000
— *Cedrela odorata*	48 000
— *Cedrela serrulata*	220 000
— *Excelsa*	440 000
— *Combretum aculeatum*	17 000
— *Cupressus lusitanica*	176 000 - 265 000
— *Cupressus sempervirens*	132 000
— *Dalbergia sisoo*	44 000

POIDS DES GRAINES (pour quelques espèces) (suite)

ESPÈCES	NOMBRES DE GRAINES AU KG (approximatif)
— *Entada africana*	4 000
— *Entandophragma angolense*	3 500
— *Eucalyptus camaldulensis*	200 000 - 1 million
— *Eucalyptus saligna*	220 000 - 3,8 millions
— *Eucalyptus tereticornis*	4,4 millions
— *Gmelina arborea*	700 - 1 400
— *Grevillea robusta*	66 000 - 150 000
— *Juniperus procera*	33 000 - 55 000
— *Khaya senegalensis*	4 800 - 7 000
— *Leucaena leucocephala*	22 000
— *Maesopsis emii*	550 - 1 100
— *Melia azedarach*	5 100
— *Ocotea usambarensis*	6 600
— *Parkia biglobosa*	5 000
— *Parkinsonia aculeata*	12 000
— *Pinus caribaea var. hondurenis*	66 000
— *Pinus kesiya*	55 000
— *Pinus patula*	150 000
— *Pinus pseudostrobus*	55 000
— *Podocarpus usambarensis*	65 - 130
— *Prosopis africana*	7 500 - 8 000
— *Prosopis juliflora*	8 000 - 15 000
— *Tamarindus indica*	2 000 - 2 500
— *Tectona grandis*	880 - 2 000
— *Ziziphus mauritiana*	3 600 - 7 000

3.4.2. SEMIS EN GERMOIR

Méthode employée pour des graines fragiles, de petite taille (exemple : eucalyptus) ou pour les graines à taux de germination faible et irrégulier (suivant la qualité des graines dont on dispose) ; elle requiert de nombreuses manipulations et est plus coûteuse que le semis direct, mais est plus efficace quand on dispose d'une petite quantité de semences.

On peut alors réaliser des estimations du nombre de semis disponibles pour le repiquage, en fonction du poids de graines semées et du taux de germination (voir *Mémento du forestier*).

Les germoirs sont constitués de caisses en bois (40 x 50 x 25 cm) ou en plastique, ou de bacs en ciment (6 m x 2 m x 25 cm) qui possèdent un fond perforé et rempli de gravier pour assurer un bon drainage de l'eau (sur 5 cm). Le sol du germoir doit être léger et superficiel (sable fin légèrement humifère et terre tamisée) : on peut y ajouter une part de compost plutôt que du fumier animal (à cause des agents cryptogamiques).

Traitement fongicide préventif (au Benlate par exemple) contre la fonte des semis et insecticide incorporé au substrat (1 à 2 jours avant le semis).

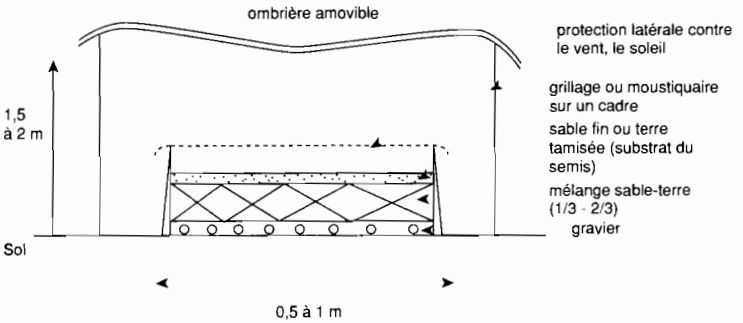
Le semis peut être fait à la volée (graines fines mélangées à du sable pour une répartition homogène), ou en ligne (graines plus grosses) avec une planche à rayonner, exemple densité semis eucalyptus : 5 à 10 g/m

On recouvre ensuite les graines de terre tamisée (ou de sable fin) proportionnellement à leur taille ; l'arrosage est fin et régulier, au pulvérisateur pour maintenir l'humidité normale sur les 3 premiers centimètres.

Pour hâter la levée et protéger le semis, on réalise un paillage qui sera enlevé ensuite (cadre de grillage fin) et on met des ombrières en continu à 2 m du sol.

Suivant les essences et les conditions de milieu, les arbres restent 30 à 45 jours en planche de semis avant d'être repiqués.

Schéma n° 3 : GERMOIR



Contre les atteintes principales du semis :

- traitement fongicide préventif (1 à 2 jours avant le semis) du sol et des semences (à base de cuivre, cryptonol, viricuivre, benlate...) contre la fonte des semis ;
- traitements insecticides, préventif ou curatif, incorporés au sol contre les attaques d'insectes (fourmis, larves...).

En cas de maladie du voile mycélien qui étouffe les semis trop humides, diminuer l'arrosage et éclairer la planche progressivement.

3.4.3. SEMIS EN SACHETS

Le semis direct en sachets (ou tubes) ou en planche de semis (cas des grosses graines et production des plants à racines nues) est utilisé pour les essences ayant une bonne faculté germinative (exemple : les pins) et pour les semences de qualité, ainsi que lorsqu'on dispose d'une grande quantité de semences faciles à manipuler.

Les sachets (hauteur 25 - 30 cm et diamètre de 7 à 15 cm) sont en plastique noir ou transparent et sont rangés en planche de 500 à 1 000 pots, une fois remplis de terre (mélange 1/3 sable, 1/3 terre et 1/3 compost ou fumier de bois décomposé, variable suivant les matériaux à disposition).

Remplissage (rendement) : 300 sachets/homme/jour.

Densité du semis : 1 à 3 graines par pot - en planche : 1 à 2 graines par poquet tous les 10 à 20 cm en ligne.

Profondeur du semis : 1 à 2 fois le diamètre des graines.

Avantages des sachets : travail réduit (pas de germoir) et facile (main-d'œuvre peu qualifiée).

Inconvénients : • gaspillage possible de tubes et de plants,
• déformations racinaires possibles dues au sachet,
• pas toujours de chevelu racinaire.

N.B. : la couleur noire du pot évite la reproduction des algues et facilite la vie microbienne, mais favorise l'échauffement.

3.5. La conduite des plants

3.5.1. L'ARROSAGE

Le sol doit être maintenu en permanence humide sans toutefois noyer ou déterrer les graines par excès d'eau : arrosoir ou pulvérisateur pour petites graines. Fréquence : 2 fois par jour ; matin et soir pendant la période chaude — plus abondant le matin.

Quantité : 1 arrosoir (10 litres) pour 100 pots et 1 arrosoir pour 50 plants en planche

Vers la fin de la saison, avant la plantation, réduire l'arrosage régulier à une fois/jour afin de ne pas avoir des plants trop grands et de les sevrer.

3.5.2. LA PROTECTION ET L'ENTRETIEN

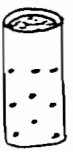
La protection contre le vent est assurée par des haies brise-vent et des palissades (souvent en paille) parallèlement aux planches (toutes les 3 et 4 planches), et contre le soleil (notamment aux stades germoir et repiquage) par des ombrières à 1,5 à 2 cm du sol en continu.

Le binage (remuer la terre durcie par les arrosages successifs) facilite la pénétration de l'eau et de l'air dans le sol et freine l'évapotranspiration de l'eau contenue dans le sol ; il se fait à l'aide d'un couteau dans les pots et d'une petite houe (daba) dans les planches.

Schéma n° 4 : LE SEMIS

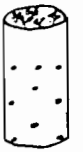
Ensemencement

Etape 1



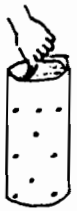
Remplir de terre
Arroser deux semaines avant de semer

Etape 2



Oter toutes les mauvaises herbes qui ont germé avant de semer

Etape 3



Mettre les semences à plat et enfoncer avec le pouce

Etape 4



Recouvrir les semences d'une couche de terre fine équivalant à trois fois le plus petit diamètre des semences

Pour semer des eucalyptus

Etape 1



Mettre 4 mm d'eau dans un verre

Etape 2



Humecter une aiguille ou une lamelle de bois sur un maximum de 3 mm

Etape 3



Enfoncer l'aiguille dans les graines d'eucalyptus

Les graines collent à la pointe

Etape 4



Pour mettre les graines, on met l'aiguille dans la terredu pot et on la retire tout de suite

Etape 5



Couvrir les graines, avec une fine couche de sable

• Le désherbage (enlever les mauvaises herbes dans les pots et les planches) permet d'éviter la concurrence au niveau racinaire et aérien avec la plante et doit se faire avec soin.

• Le binage et le désherbage s'effectuent simultanément environ 2 fois par mois.

3.5.3. DÉMARIAGE ET REPIQUAGE

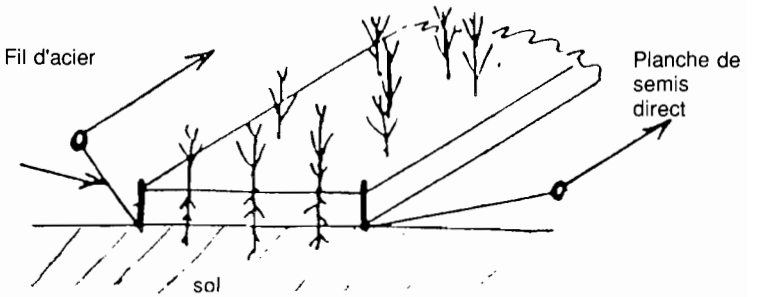
Le démariage consiste à sélectionner un jeune plant parmi plusieurs plantules ayant germé dans un même pot (sachet) ou potet d'une planche ; les autres seront séparées et repiquées ou éliminées : on s'efforcera de ne garder que les meilleurs plants et de ne conserver qu'un seul plant par pot ou, dans le cas des planches, un plant par cinq centimètres environ.

Le repiquage de plants issus de germoirs ou de planches (démariage), permet de modifier l'enracinement des plants en créant un « chevelu » et d'obtenir ainsi des plants plus robustes par augmentation de l'absorption racinaire. Cette opération intervient suivant les essences environ 30 à 45 jours après le semis.

— *Précautions à prendre :*
Démariage et repiquage doivent être précédés d'un arrosage abondant pour faciliter l'arrachage des plants.
Travailler à l'ombre, pendant les heures fraîches (pour éviter le dessèchement).
Après repiquage, maintenir l'ombrage 15 à 20 jours, puis le réduire progressivement.

— Le repiquage **en planche :** (cas du semis direct, planches)
Il consiste en une opération de soulevage ou cernage des plants au moyen d'un fil d'acier permettant de sectionner le pivot et de provoquer ainsi le chevelu racinaire (nécessite un agencement spécial au préalable de la planche de semis).

Schéma n° 5 : CERNAGE D'UNE PLANCHE



On peut ensuite planter ces arbres en motte nue, extraite des planches de la pépinière (bon résultats avec les pins mais transport délicat).

— Le repiquage **en sachets** (cas du germoir et du semis en sachet), la technique varie suivant les essences, mais les précautions restent semblables :
- extraction des semis et rejet des mal conformés,
- rhabillage des plants (sectionnement de l'extrémité des rameaux et des racines avant repiquage),
- repiquage au doigt ou plantoir (faire un trou suffisamment profond pour éviter de recourber les racines et la formation d'une crosse),
- tassage de la terre autour du plant (et des racines), sans compacter, pour éviter les poches d'air,
- respecter le niveau du collet (et ne pas le blesser),
- arroser copieusement.

Il est conseillé de bouger les sachets régulièrement dans la planche pour sectionner les racines qui dépassent en bas du sachet. Si les plants restent trop longtemps dans le sachet ou poussent trop vite, on peut craindre des spiralisations des racines à la périphérie du tube (formation d'un chignon).
Rendement du repiquage : 500 plants/homme/jour

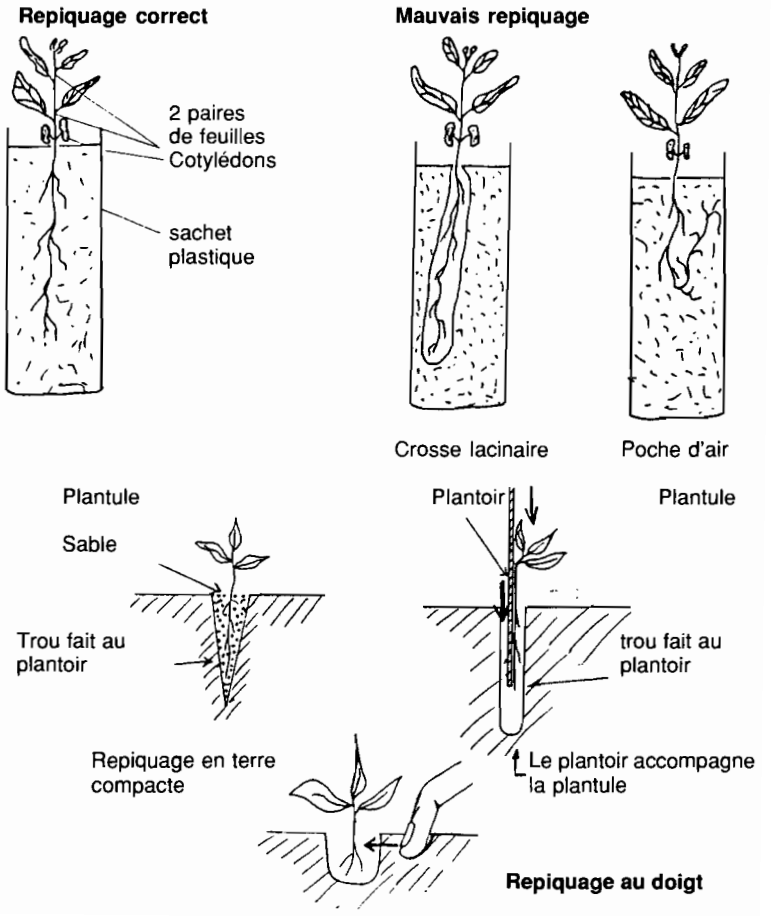
— Le repiquage **en boulettes**

La difficulté majeure réside dans la qualité du mélange de la boulette :

exemple : 3 vol. de terre noire humifère, 1,5 vol. de terre rouge argileuse, 1 vol. de sable.

Une bonne boulette doit être solide (ne pas s'effriter en pépinière ou au transport), mais rester assez souple pour permettre le développement des racines : forme cylindrique 6 cm x 15 cm.

Schéma n° 6 : LE REPIQUAGE



La technique : on tranche la boulette dans la longueur avec un couteau et on place le jeune plant humide en prenant soin d'étaler les racines, en le glissant de bas en haut. On referme alors la boulette et on la roule entre les mains pour assurer un bon contact terre-racines, en évitant de compacter la terre et de lisser les parois.

Les boulettes sont alors rangées dans les planches de repiquage et les intervalles sont remplis de sable ou éventuellement de terre mycorhizée.

Rendement : 400 boulettes/homme/jour – entretiens identiques.

Les avantages de cette technique (moindre coût, moins de déformations racinaires.,) ne doivent pas faire oublier qu'il faut être très soigneux dans la manipulation des boulettes (arrosage, désherbage, transport...,) sous peine de les détruire et de perdre le plant.

3.5.4. LES TRAITEMENTS

En plus du traitement préalable au semis, il est parfois nécessaire de réaliser des traitements curatifs directement dans les pots ou sur les planches, notamment pour lutter contre les termites.

Ces traitements s'effectuent de préférence le matin et le soir après arrosage, en évitant les fortes chaleurs.

Exemple de traitement antitermite : Alandrin (ou Lindane) à 1 % de matière active, à la dose de 100 ml/pied, à l'arrosoir, suivi d'un rinçage à l'eau pour éviter les brûlures des feuilles.

3.6. Fertilisation - Mycorhization - Inoculation

3.6.1. FERTILISATION

Elle a pour but d'accroître la production en apportant les éléments nutritifs principaux (NPK) d'une manière assimilable pour les plantes et d'éviter la dégradation des sols à long terme par une exploitation soutenue des éléments.

L'emploi d'engrais chimiques sur les arbres forestiers est une pratique récente ; aussi en connaît-on encore assez mal toutes les répercussions. En effet, la fertilisation entre en interaction avec les autres techniques sylvicoles (mycorhization, travail du sol, entretiens...). Par exemple, sur certaines essences, elle peut gêner la mycorhization ; elle peut, aussi, entraîner un surcroît d'entretien du fait de ses conséquences non maîtrisées sur les herbes adventices.

Elle se pratique au moment du repiquage, en incluant les éléments d'apport au mélange de terre.

2 types de fumure :

— Fumure organique : compost, engrais vert à base de légumineuses, fumier animal (moins bon). Il existe de nombreuses sortes de fumier animal et certaines ne sont pas à exclure suivant la région. Cependant les fumiers ou compost insuffisamment décomposés favorisent la fonte ou brûlent les jeunes plants par excès d'azote.

— Fumure minérale : engrais complet NPK (environ 2 kg/m^3 de terre) où la combinaison NP est la plus importante, amendement calcaire et magnésien, oligo-éléments ; l'apport en phosphates augmente le développement mycorhizien.

3.6.2. MYCORHIZATION ET INOCULATION

Pour certaines essences, la croissance ne s'effectue convenablement que si des organismes extérieurs s'associent aux racines et augmentent le système d'absorption de l'arbre, permettent la fixation de l'azote de l'air, etc.

La mycorhization est la symbiose, l'association d'un arbre avec un champignon (exemple des pins).

L'inoculation est le fait d'associer un autre élément à la plante par exemple une bactérie avec les légumineuses.

Pour faciliter la mycorhization, on introduit artificiellement le champignon de l'association dans le milieu de culture.

2 méthodes :

— introduire des spores du champignon dans le germoir,

— récolter de la terre contenant du mycélium de ce champignon dans un boisement du même genre et utiliser cette terre pour le remplissage des sachets ou la confection des boulettes pour le repiquage (bon résultats, facile à réaliser).

La mycorhization dure toute la vie des plantes, sauf si on détruit le champignon avec un fongicide lors d'un traitement en pépinière ; il faut alors recommencer en déposant de la terre mycorhizée à la surface du sachet.

La réussite se mesure à la vitesse de croissance des plants et sur les pins la différence est très visible dès le stade pépinière. Cependant on connaît encore mal ce phénomène avec les essences locales.

En cas d'espèces légumineuses vivant en symbiose avec le rhizobium (exemple : *Leucaena*, *Gliricidia*,...), l'inoculation préliminaire des semences devient indispensable. Les deux méthodes exposées ci-dessus restent valables mais on pratique couramment la première méthode (exemple : avec *Casuarina*) : on trouve, en effet, dans le commerce une préparation appelée « Inoculum » qui, mélangée à l'eau, constitue le liquide dans lequel sont trempées les graines avant leur semis.

3.7. La production de plants par multiplication végétative

La multiplication végétative (ou multiplication asexuée) peut être un bon moyen d'obtenir des plants de façon peu coûteuse, tout en étant sûr de la qualité du matériel végétal obtenu.

Il existe plusieurs méthodes de reproduction végétative et d'utilisation du matériel ainsi produit.

3.7.1. LE BOUTURAGE

Méthode la plus employée en zone tropicale, cette opération consiste à multiplier une plante à l'aide de fragments de tiges, de rameaux, racines, vivants, appelés boutures, détachés de la plante mère et mis en place dans le sol en vue d'obtenir un végétal raciné identique à celui qui a donné la bouture.

Les boutures sont utilisées couramment en reboisement avec les espèces suivantes : *Albizia lebbeck, Azadirarachta indica, Cassia siamea, Prosopis juliflora*, les euphorbes, les eucalyptus...

Une bouture racinée est une bouture qui a préalablement été plantée en pépinière pour s'enraciner avant la mise en place définitive.

3 types de bouturage :

— le bouturage à l'air libre : avec des boutures non racinées plantées directement en terre (après une pluie), par exemple pour la confection des haies vives (résultats inégaux — bonne réussite pour *Euphorbia balsamifera*) ;
— le bouturage sous « mist » : production de boutures racinées sous humidité saturée par création d'un brouillard artificiel (technique utilisée en milieu tropical humide) ;
— le bouturage sous châssis : production de boutures racinées dans des sortes de serres quasi étanches (évaporation presque nulle) ; technique utilisée en zone sèche.

L'intérêt du bouturage est triple :

— pour la recherche, c'est un moyen permettant l'amélioration génétique maximale à court terme, en appréhendant directement un certain nombre de paramètres génétiques (peuplements clonaux offrant une grande homogénéité) ;
— pour l'établissement de vergers à graines et de parcs à clones ; il conserve les gênes ;
— pour le reboisement : c'est une pratique bien connue des paysans (pour la patate douce, le manioc, les arbres fruitiers...), qui permet une production illimitée de plants sélectionnés pouvant être adaptés à des fins très spécialisées (exemple : qualité technologique, résistance à la sécheresse...) ; un bon nombre d'espèces locales semblent aptes au bouturage mais n'ont pas encore été testées sous différentes conditions.

3.7.2. LA CULTURE *IN VITRO*

Elle nécessite une technique précise et des moyens importants ; cette méthode de production d'individus à partir de la multiplication méristématique (différenciation cellulaire à partir du méristème) semble prendre une part de plus en plus importante pour la production de plants de haute qualité : eucalyptus, pins, acacias, casuarina, etc.

3.7.3. LE MARCOTTAGE

C'est un procédé de multiplication végétative de plants, par lequel une pousse aérienne est mise en contact avec le sol et s'y enracine avant d'être isolée de la plante mère. C'est un substitut du bouturage dans les cas difficiles, peu utilisé.

3.7.4. LE GREFFAGE

Des opérations d'amélioration du matériel végétal par greffage sont aussi réalisées ; elles demandent un apprentissage et une bonne maîtrise : des soins attentifs et continus conditionnent leur réussite.

3.8. Les types de plants

Selon le mode de plantation, les contraintes de terrain, l'essence choisie et le matériel disponible localement, on orientera son choix vers la préparation de tel ou tel type de plants au moment du reboisement.

3.8.1. LES PLANTS A RACINES NUES

Ce sont des plants extraits des planches et débarrassés des excédents de terre sur les racines puis pralinés (rhabillage des racines) avant la plantation.

On distingue :
— les plants à hautes tiges ou striplings : tige intacte ou taillée à 1,2 - 1,3 m, et avec un maximum de racines, mais effeuillée (par exemple neem, cassia, caïlcedrat, le plus souvent lors des plantations d'ombrage et d'alignement) ;
— les stumps ou barbatelles : plants de grande taille de certaines essences feuillues à pivot développé (teck, cassia, gmelina, albizia...) dont on a sévèrement rabattu les racines (20 - 25 cm) et la tige (2 à 5 cm), (diamètre au collet 1,5 à 3 cm).

3.8.2. LES PLANTS EN POTS (OU SACHETS)

Plants semés ou repiqués en sachets et ayant au moins 30 à 40 cm de hauteur suivant les essences, ou bien les boutures racinées.

3.8.3. SÉLECTION DES PLANTS

Afin de disposer de plants de qualité pour le reboisement, le pépiniériste doit procéder à la sélection afin d'éliminer les sujets malades ou malformés, sur les critères suivants : la santé, la vigueur, la forme et la taille en grandeur. La sélection intervient à plusieurs stades : semences, semis (éliminer les petites graines), repiquage (éliminer les chétifs et mal-venants), démariage, envoi des plants sur les chantiers de reboisement.

2 jours avant la plantation et le transport, les plants doivent être copieusement arrosés. On sera précautionneux dans le chargement et le transport se fera impérativement aux heures les plus fraîches de la journée.

4. LES TECHNIQUES DE REBOISEMENT

4.1. Les techniques de plantation

4.1.1. LES CARACTÉRISTIQUES DE PLANTATION

La date de plantation

La meilleure période est au début de la saison des pluies, après qu'une quantité suffisante d'eau est tombée pour imbiber le sol et en faire profiter les plants, mais aussi le plus rapidement possible après l'apparition des pluies pour profiter au maximum de la pluviométrie totale de la campagne.

Estimation des quantités d'eau (de pluie) nécessaire pour planter :
— pluviométrie cumulée de 30 à 40 mm et humidité suffisante pour que les plants puissent se maintenir d'une pluie à l'autre ;
— ou profondeur de pénétration de l'eau dans le sol atteignant 30 cm après une (ou plusieurs) pluie, permettant la survie des plants jusqu'à une prochaine pluie.

La densité

Le choix des écartements dépend :
— du tempérament de l'espèce (auto-écologie, tolérance à la concurrence, conduite sylvicole...) et de son rôle (production, protection, alimentaire...) ;
— du type de plantation (agroforestière, monoculture intensive, mélange d'essences...) et du type de production souhaité (bois de feu, perche, bois d'œuvre, fruits, gommes) ;

— du milieu (qualité du sol, végétation) et du mode d'entretien envisagé.

Exemples d'écartements et de densité employés :

si e = 2 x 2 m —> d = 2500 arbres/ha	ex : plantation en irrigué, eucalyptus
si e = 3 x 3 m —> d = 1100 arbres/ha	ex : plantation en sec
si e = 4 x 4 m —> d = 600 arbres/ha si e = 10 x 10 m —> d = 100 arbres/ha	ex : plantation en sec d'essences locales (en général), en mélange ou en association avec des cultures agricoles

En Afrique de l'Ouest, la plupart des arbres sont plantés avec un écartement de 3 à 4 m, voire plus important pour de nombreux arbres du Sahel qui ont un comportement solitaire (*Acacia albida*). En général pour les essences locales, plus l'âge d'exploitabilité sera élevé plus grand sera l'écartement final entre les arbres ; il en est de même pour un sol pauvre ou sous un climat sec.

Le piquetage

Le type de piquetage (pour la trouaison) visualise sur le sol la disposition des arbres et détermine la densité de plantation :

— piquetage en carré : le plus utilisé surtout dans les plantations de production (simplicité de mise en place, facilité de nettoyage mécanique dans les deux sens, équidistance des plants) ;

— piquetage en rectangle : plants non équidistants ; à préconiser sur les pentes assez fortes (en suivant les courbes de niveau), pour les reboisements villageois ou sur culture pour faciliter le passage d'engins d'entretien entre les lignes (exemple : gyrobroyeurs, charrues à disques) ou dans les plantations qui doivent subir une éclaircie systématique prévue pour revenir au piquetage en carré ;

— piquetage en quinconce : utilisé principalement dans les plantations brise-vent ou les haies vives, comportant plusieurs rangées (dispositif à base « en rectangle » préconisé) ;

— piquetage en triangle (ou piquetage en quinconce à base « en carré ») : plus difficile à implanter et peu utilisé ; concerne les plantations expérimentales, les plantations devant subir une éclaircie rapide, ou, sur les pentes fortes, les plantations à grand espacement. Bien que ce dispositif utilise au mieux le terrain, la concurrence entre les plants se fait sentir très rapidement (le couvert se germe vite), et le nettoyage mécanique est très difficile.

On peut planter des piquets de bois pour signaler l'endroit de l'arbre, ou juste marquer l'emplacement d'un coup de houe ou encore débuter la trouaison.

Le parcellaire

Afin de suivre les plantations et les travaux sylvicoles (dégagements, éclaircies...) et de gérer correctement la plantation et la production, pour de grandes surfaces reboisées, on délimite des parcelles, d'une surface sensiblement identique.

Pour les plantations de moindre surface (exemple : 10 ha) c'est l'ensemble de la surface reboisée qui constitue une parcelle ; pour les surfaces encore inférieures, le parcellaire est inutile.

Les parcelles sont repérées par des numéros, un plan précis, et toute intervention sylvicole est consignée dans le cahier de parcellaire (qui fait suite aux fiches établies en pépinières).

La préparation du sol

But :

— préparer la plantation et faciliter les entretiens ultérieurs en éliminant la concurrence de la végétation spontanée (défrichement) et en assainissant les cultures (destruction des parasites) ;
— préparer et compléter l'action climatique et biologique en améliorant les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol qui favoriseront l'implantation rapide d'un système radiculaire puissant et la croissance aérienne.

Méthodes :

— le travail mécanique n'est possible qu'à certaines conditions de milieu (choix des engins en fonction de la texture et de la structure du sol) et pour des chantiers forestiers de grande surface (plantations de production) ;
— le travail manuel est moins coûteux et, parfois, le seul possible (relief, fragilité des sols...) et permet de mieux conserver la terre arable de couverture (horizons superficiels) ; c'est le seul envisageable pour des plantations villageoises et individuelles.

Travaux préalables à la plantation

— le défrichement : il n'est pas nécessaire de couper tous les arbres et arbustes se trouvant déjà dans le périmètre à planter ; s'efforcer plutôt de conserver les essences locales les plus intéressantes et favoriser les associations. Défricher surtout dans un rayon suffisant autour de l'arbre à venir ou des lignes de plantations ;
— la détermination des chemins pour ne pas planter dessus ;
— la trouaison : à effectuer bien avant la plantation (avant l'arrivée des pluies) car elle est indispensable pour constituer un travail du sol et une réserve en eau suffisants pour l'installation du plant ;
— généralement on a recours à la méthode des « grands potets », qui consiste à creuser à la pelle, à la pioche, pendant la saison sèche, un trou de 60 x 60 x 60 cm qu'on rebouchera en période pluvieuse quelques jours avant la plantation, afin d'avoir une terre pas trop tassée mais sans poche d'air, on prendra soin de replacer la terre dans le sens des horizons pédologiques.

Toutefois en zones arides on procède à un aménagement spécial de bourrelet de terre tassée (avec ou sans pierre) en forme de V ou de croissant en aval de chaque plant (sur terrain en pente) ou en forme d'anneau (sur terrain plat), qui permet de récolter les eaux de pluies et de diminuer les pertes par ruissellement. Pour une plantation en quinconce on peut aussi relier chaque cuvette ainsi formée, par 2 rigoles aux potêts situés en aval sur les deux rangées voisines : ce dispositif s'appelle la méthode « d'arêtes de poisson ».

Le transport des plants

Il doit être organisé de sorte que les plants ne soient pas détériorés par l'exposition au vent et au soleil (arrosage au préalable et protection par une bâche).

Il convient de s'assurer que les livraisons en provenance des pépinières sont

suffisantes pour que les équipes de plantation travaillent sans interruption. Pour cela il faut connaître :
— le rendement moyen de la main-d'œuvre et la compétence des ouvriers planteurs ;
— la méthode de plantation utilisée ;
— la taille et le type des plants (racines nues, mottes...) ;
— la configuration du terrain et la nature du sol.

Le transport des plants en pots est assez facile mais vite lourd et volumineux ; celui des plants à racines nues pose moins de problèmes car les paquets déjà préparés à l'avance se tassent facilement dans le camion.

Lorsque la zone de plantation est éloignée, un stockage temporaire des plants est souvent nécessaire :
— en jauge pour les plants à racine nues ;
— en dépôt à l'ombre, à proximité d'un point d'eau et du lieu de plantation pour les plants en sachets.

Précautions à prendre :
— transporter aux heures les plus fraîches du jour (matin et soir) ;
— maintenir les racines humides (arrosage) et les protéger contre le dessèchement par le vent et par le soleil (abri).

La fertilisation des plantations

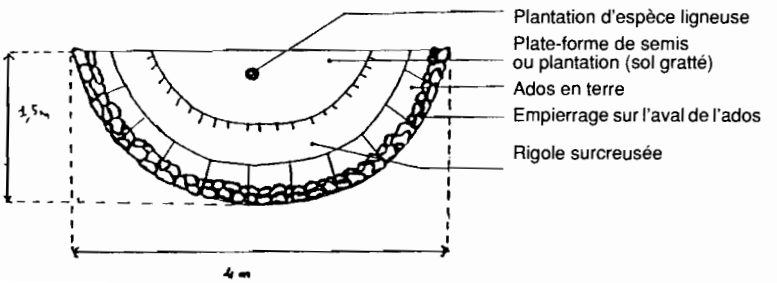
Comme apport de départ, les engrais facilitent l'installation des plants et leur développement aérien et souterrain ; ils deviennent ainsi plus aptes à résister aux aléas climatiques.

On ne pratique qu'une fertilisation ou des amendements localisés :
— dans le trou au moment de la plantation ;
— en ligne pour des grandes plantations, avec travail du sol important et mécanisé ;
— en apport de surface au pied des plants, après la plantation, 1 fois par an les 2 ou 3 premières années suivant la plantation.

L'épandage se fait le plus souvent à la main.

AMÉNAGEMENT SPÉCIAL DE RÉCUPÉRATION DES EAUX DE PLUIE

CUVETTE EN DEMI-LUNE EMPIERRÉE



Pour certains boisements de production, la réalisation d'une fumure de fond n'est pas conseillée car elle augmente le développement des graminées et accroît ainsi la concurrence. En revanche un amendement de fond peut être réalisé.

Pour connaître les besoins en engrais d'une station, on peut, lors de l'étude de station, réaliser des analyses du sol, des analyses foliaires et des essais de fumure. Cependant bien que la pauvreté en éléments nutritifs des sols ferrugineux tropicaux s'avère être un facteur limitant, l'utilisation des engrais, surtout en zones arides, n'est pas rentable du point de vue économique même si cela se traduit par une augmentation des taux de réussite et une amélioration de la croissance des essences. Néanmoins l'épandage d'anti-transpirant au pied des plants peut être intéressant pour les plantations en zones sahéliennes.

4.1.2. LES PLANTATIONS EN SEC

Ce sont des plantations sans apport d'eau extérieur, par opposition aux plantations irriguées, elles sont normalement réservées aux essences locales en zones arides.

- Plantation avec des plants en sachets

La plantation d'arbres en sachets est longue et demande de l'application ; l'enlèvement du sachet est obligatoire sous peine de mortalité du plant. Il convient de procéder ainsi :

— ouvrir et ameublir la terre dans chaque trou ;
— avec un couteau tranchant, sectionner soigneusement le sachet plastique transversalement à 2 cm environ du fond, afin de couper les éventuelles spirales des racines, en évitant que la motte soit morcelée (tenir par en dessous) ;
— mettre le plant dans le trou, avec sa motte de terre, le collet arrivant au niveau du sol et enlever le sachet ;
— combler le trou avec de la terre et bien tasser tout autour du plant pour qu'il ne reste pas de poche d'air.

On peut estimer suivant les conditions (milieu, main-d'œuvre) un rendement de 100 à 200 arbres plantés/homme/jour.

En zones arides on peut laisser une légère dépression autour du plant dans le but d'accentuer le micro-bassin aménagé pour capter les eaux de pluie (cf chapitre précédent).

- Plantations avec des plants en boulettes

Les précautions sont les mêmes, mais le travail est plus facile et plus rapide (150 à 250 arbres plantés/homme/jour) : ouvrir la terre du trou, placer la boulette sans enfoncer le collet de l'arbre dans le trou, reboucher et tasser soigneusement pour qu'il ne reste pas de poche d'air.

- Plantation avec des plants à racines nues

Ce type de plant se trouve dans des cas très précis (cf § 3.8.) et on fera très attention à ne pas les laisser au soleil ou exposés à un vent desséchant : après leur transport et en attendant leur plantation, on les mettra en jauge c'est-à-dire provisoirement tous ensemble dans une rigole de terre.

On entreprendra ensuite l'habillage des racines : taille du pivot à la machette ou au couteau, enrobage des racines d'un mélange de terre et de fumier, effeuillage de la tige aérienne.

Enfin on procédera à la plantation comme précédemment : dépose au fond du trou (collet non enfoncé), maintenir en équilibre pendant le comblement du trou, tassement de la terre autour du plant.

Travaux accompagnant la plantation

— Pour l'eucalyptus, le neem ainsi que tous les plants ayant une tige aérienne trop grande au moment de la plantation, afin de limiter l'évapotranspiration, on effeuille délicatement le plant, en laissant 2 à 3 feuilles au sommet, autour du bourgeon terminal, qu'on prendra bien soin de ne pas abîmer lors de cette opération.

— La reprise des plants dépend dans une large mesure d'une bonne technique de plantation d'où l'importance de l'organisation et de l'encadrement des chantiers.

— En zones tropicales sèches où la contrainte principale est l'eau, on cherchera à favoriser le plant en choisissant soigneusement la date et le mode de plantation, en sélectionnant les essences, en prenant un soin particulier aux travaux de préparation du terrain et de conservation des eaux et du sol (CES - DRS).

— L'entretien après la plantation permet :

- de supprimer la concurrence vitale des graminées et d'augmenter ainsi la quantité d'eau et d'éléments minéraux du sol mis à la disposition des plants ;
- d'empêcher la propagation des feux de brousse dans les plantations.

La première année de mise en place faire un premier nettoyage en saison des pluies afin que les herbes adventices n'étouffent pas les jeunes plants, et un deuxième nettoyage après la saison des pluies avant l'épiaison des graminées ; un traitement de rappel antitermite peut aussi être effectué à la fin de la saison des pluies.

Les années suivantes, et jusqu'à 4 - 5 ans, il est recommandé d'effectuer un entretien au moins en fin de saison des pluies.

Cet entretien peut prendre la forme d'un dégagement, d'un désherbage (manuel ou mécanique) ou encore d'une installation de culture dans la plantation (voir chapitre Agroforesterie).

— Dans certaines conditions de milieu (pression sociale, pastorale...) et pour des périmètres de reboisements importants (production, reconstitution), on pourra installer une clôture de protection qui bien que très coûteuse, est efficace.

Cependant pour les petites plantations villageoises ou individuelles dans les champs, on installera une protection individuelle contre le bétail et contre les travaux agricoles essentiellement. Ces paniers individuels de protection (ou gabions) sont fabriqués en matériaux locaux (branches mortes d'épineux, écorces, feuilles) et doivent être assez hauts pour être efficaces afin que les feuilles et le bourgeon ne soient pas abroutis et assez larges pour ne pas étouffer le plant.

4.1.3. LES PLANTATIONS EN IRRIGUÉ

Elle répondent à des objectifs précis et à certaines conditions de milieu (cours d'eau naturel ou artificiel à proximité, surface réduite, ou au contraire besoins et moyens importants), on peut irriguer la plantation à différents degrés :

- apport d'eau au moment de la plantation :
  essentiellement pour assurer la reprise, mais ne remplace pas un bon choix de la date de plantation ;

- apport d'eau la première année de vie :
  dans des périmètres hydroagricoles, sur des zones délaissées par l'agriculture, par exemple dans une rizière sur casier non planté en riz, car trop sableux ; l'arrosage s'effectue par apport manuel ou canon arroseur ;
- arrosage limité et périodique :
  ce peut être le cas des plantations intégrées dans des projets de développement agricole irrigué : blocs de production de bois, alignement le long des canaux, brise-vent, plantations paysannes...
  L'arrosage se fera aux périodes critiques (saison sèche) et répondra « à la demande »

Les méthodes d'irrigation sont semblables à celles utilisées en agriculture (irrigation localisée ou par gravité), elles demandent l'intervention de spécialistes car les moyens à mettre en œuvre sont importants et coûteux.

Remarques :
De manière générale, l'irrigation des arbres demande des moyens importants et assez difficiles à mobiliser, même pour des arrosages individuels (disponibilité et transport de l'eau...).

Bien que l'arrosage des plants semble donner un excellent taux de reprise à la plantation, il est évident que, dans des zones où on manque régulièrement d'eau, l'irrigation des arbres ne se fera que quand, d'une part il y a un surplus d'eau (après avoir servi les personnes, le bétail, les cultures) et quand d'autre part cela justifiera (et justifiera les dépenses) : production de bois à bon rendement, effets bénéfiques importants de la plantation (exemple : brise-vent) et rôles multiples.

4.2. Les techniques de semis directs

Le semis direct consiste à reboiser ou à régénérer un terrain nu ou un boisement clair, par semis de graines d'essences forestières directement dans le sol sur le lieu même du reboisement.

Cas d'utilisation :
— regarnissage et régénération sur de faibles surfaces à l'intérieur d'un boisement ;
— association agriculture-foresterie ; exemple : agriculture-gommeraie au Soudan : l'agriculteur sème directement le gommier (Acacia sénégal) dans ses champs en l'introduisant dans la rotation agricole (5 ans de mil, 15-20 ans de gommier) ; c'est une sorte de jachère forestière qui, pour diverses raisons, est difficilement reproductible à grande échelle ;
— reboisement en plein sur de petites surfaces : exemple : plantation d'anacardier avec 3 graines par potet (trou) et élimination des plants surnuméraires là où plusieurs graines ont germé.

Avantages et inconvénients :
— cette méthode de constitution ou reconstitution d'un boisement présente l'avantage d'un faible coût (pas de matériel nécessaire), notamment si les graines sont disponibles, et donc être facilement appropriable par les populations puisque même souvent traditionnelle ;

— cependant cette façon de procéder ne permet pas sans risque de reboiser de grandes surfaces, la réussite étant aléatoire car elle dépend directement de la qualité des graines et des conditions climatiques. De plus, pour assurer un taux de réussite élevé, le nombre de graines dépensé sera important (en fonction de l'essence), et l'impossibilité de repiquage en cas de plants surnuméraires par potet provoquera une perte de plants (jeunes semis) qui ne pourra combler les vides laissés par les potets non germés.

Techniques :

— le semis se fait par potets, ouverts manuellement à la houe ou à la daba (en général selon les méthodes de culture traditionnelle) ;
— le nombre de graines par potet, pour produire au moins un plant, est déterminé par la faculté germinative du lot de semences, la pureté des graines ; ces valeurs sont fournies soit par les services forestiers, organismes de recherche et de distribution des semences, soit par expérience (essai de germination) ;
— le choix des essences se fera en fonction du sol, de leur taux de germination, de leur faculté à germer sans traitement et de leur résistance à l'état juvénile. On choisira de préférence des essences locales testées, à fort pourcentage de germination ; essences utilisées : *Teck, Neem, Balanites, Combretum, Acacia sénégal, Gmelina, Sclerocaya birrea, Leucaena leucocephala...*
— pour favoriser la germination des graines, seuls les prétraitements simples sont utilisés (trempage dans l'eau) ;
— le semis se fait généralement après une pluie importante (30 - 50 mm) en début de saison d'hivernage (s'appuyer sur l'expérience des agriculteurs et sur leur date de mise en culture). On peut aussi anticiper les pluies et semer en sec afin que les semences bénéficient de la pluviométrie totale de la saison des pluies avec toutefois un fort risque de mortalité si la première pluie est suffisante pour faire germer la graine, mais insuffisante pour maintenir le taux d'humidité jusqu'à la prochaine pluie ;
— une bonne méthode est de favoriser par des aménagements de récupération des eaux de ruissellement (DRS - CES).

4.3. Le reboisement par les petites pépinières (villageoises et privées)

Les pépinières villageoises (mini-pépinières au Niger) et les pépinières privées (paysannes, au Rwanda) sont le signe d'un intérêt et d'une prise de conscience poussée, de la part des populations, de la nécessité de planter des arbres et de lutter contre la déforestation et la désertification ; on attachera donc un intérêt particulier à ces initiatives, car il s'agit là d'un élément important dans la recherche d'un compromis social face à une crise du milieu, à la fois foncière, sociale, économique et technique. De plus ces dispositions d'esprit font présager un bon soin de la plantation.

On s'appliquera donc à animer ces mouvements avec des personnes intéressés et volontaires, et à apporter, par la formation pratique (à la pépinière, à la plantation...), les compléments techniques nécessaires. De même, on utilisera des méthodes simples et efficaces et on facilitera l'accès aux intrants : semences, outils, sachets plastiques, produits de traitement etc.

Le plus souvent un programme de boisement existant suscite ce type de demande et pour y répondre on procédera de cette manière :

— sensibilisation sur les problèmes de l'arbre dans l'environnement ; inventaire des personnes ou des groupes intéressés par la création de pépinières ;
— recensement des besoins en arbres et détermination du rôle des futures plantations ; essences, nombre de plants, lieu de plantation ;
— décision sur l'organisation à adopter :
  • grand groupe : pépinière villageoise ;
  • quelques personnes : une ou plusieurs pépinières privées ;
— animation-formation : on s'assurera qu'il y a des personnes disponibles, prêtes à fournir ce travail ; on expliquera les travaux nécessaires, les contraintes (problème de l'arrosage), l'engagement représenté et on formera ces gens aux techniques de pépinières et plantation ;
— suivi : on visitera la pépinière aux différentes étapes : installation, semis, entretiens, repiquage, plantation... et on restera ouvert et attentif aux innovations et adaptations apportées par le paysan pour mener à bien les différents travaux ;
— promotion des visites en groupe, entre groupes, pour favoriser les échanges d'expérience et susciter d'autres démarches de ce type.

Ce travail est contraignant et repose souvent sur une relation personnelle poussée entre le paysan pépiniériste et le technicien. Cette approche contribue à ouvrir le monde forestier et agricole aux connaissances paysannes, et réciproquement.

DEUXIÈME PARTIE

AGRICULTURE SPÉCIALE

CULTURES SPÉCIALES

CHAPITRE XV

CULTURES SPÉCIALES

Ce chapitre, *ne doit pas être considéré comme un traité détaillé d'agriculture tropicale et ne prétend pas exposer de manière exhaustive* toutes les notions indispensables à la bonne connaissance de chaque culture. Des renseignements plus détaillés peuvent être obtenus auprès des Instituts spécialisés dont la liste et les adresses sont indiquées en Annexe.

On pourra également se reporter aux principaux ouvrages relatifs à chaque culture (bibliographie sommaire à la fin du mémento).

De précieux renseignements ont été trouvés dans différents ouvrages parmi lesquels il faut réserver une place toute particulière à la collection « Techniques Agricoles et Productions Tropicales » dirigée par M. R. Coste, Éditions G. P. Maisonneuve et Larose, 11, rue Victor Cousin, Paris 5e.

Les différentes cultures ont été regroupées par affinités. On distingue successivement (par ordre alphabétique) :

1. — les plantes amylacées
2. — les plantes à caoutchouc
3. — les plantes à épices
4. — les plantes à fruits importantes
5. — les plantes insecticides
6. — les plantes légumières
7. — les plantes médicinales
8. — les plantes oléifères
9. — les plantes à parfum
10. — les plantes saccharifères
11. — les plantes stimulantes
12. — les plantes tannifères et tinctoriales
13. — les plantes textiles

Dans chacune de ces catégories, les cultures ont été classées par ordre alphabétique.

Pour chaque culture, la présentation suivante a été adoptée :

NOM

Famille — **Nom anglais**
Nom latin — **Nom espagnol**

— Buts de la culture
— Botanique
— Écologie
— Données statistiques
— Culture
— Maladies et ennemis
— Technologie

1. — Temps de travaux
2. — Économie (production et échanges commerciaux)

Les temps de travaux figurant dans ce chapitre sont, sauf indication contraire, des temps de travaux en culture manuelle pure, non compris les défrichements ; ils doivent être augmentés ou diminués au niveau des récoltes en fonction des rendements des cultures et ils ne sont qu'indicatifs par rapport aux grandes variations que l'on observe en milieu rural d'un lieu à l'autre selon les systèmes de cultures (association, mécanisation, etc.).

Remarques

Le désherbage chimique étant l'objet de recherches actives, lorsque des résultats intéressants ont été obtenus, mention en a été faite. Cependant les résultats étant très variables suivant les différents sols et les différents climats, il sera préférable de procéder à des essais préalables avant d'utiliser en grand ces désherbants.

Les chiffres de production et de commerce ont été trouvés dans les annuaires 1985 de la FAO. Les chiffres suivis de la lettre « F » sont des estimations FAO ; ceux suivis d'un (*) sont des données non officielles.

SOUS-CHAPITRE I — PLANTES AMYLACÉES

— Arrow-root
— Graminées alimentaires (sauf Mil et Sorgho)
— Igname
— Maïs
— Manioc
— Mil
— Patate douce
— Pomme de terre
— Riz
— Sagoutier
— Sorgho
— Taro

ARROW-ROOT

Cannacée
Canna edulis — **Arrow-root**

« La fécule d'arrow-root est produite par les tubercules de plusieurs plantes de la famille des cannacées, à laquelle appartient le Balisier, ou Canna, plante répandue dans les jardins » (1) et aussi de *Maranta arundinacea* (marantacée).

La fécule s'accumule dans des tiges souterraines (rhizomes).

L'arrow-root est une plante particulièrement [illegible]aire aux Antilles et aux Iles Hawaï ; elle est originaire d'Amérique méridionale.

La propagation se fait par les tubercules.

La consommation est identique à celle des pommes de terre. La fécule est très digestible (biscuits aux États-Unis).

Sol : préfère les sols légers, un peu sablonneux mais gardant l'humidité.

Culture

Plantation : par fragments de rhizomes que l'on dépose dans des sillons.

Densité : 1 m x 1 m soit 10 000 plants/ha.

(1) G. CAPUS. *op. cit.* p. 57.

Récolte : 10 mois à 1 an après la plantation en coupant d'abord feuilles et tiges et en arrachant les rhizomes ensuite.

Technologie : la fécule est obtenue par des opérations analogues à celles utilisées pour le manioc : rapage, lavage, décantage, séchage.

GRAMINÉES ALIMENTAIRES

Le terme « mil » prête à confusion. Pour certains, il regroupe l'ensemble des céréales qui ont pour caractère commun la petitesse de leurs grains. Le mil comprendrait alors essentiellement deux catégories :

— Les sorghos ou gros mils ;

— Les millets ou petits mils.

Pour d'autres, il convient de parler de sorghos et de mils, le terme millet n'existant plus.

En adoptant cette terminologie, la classification des graminées alimentaires tropicales est la suivante :

1. SORGHOS

Appartiennent à la tribu des Andropogonées et ne comprennent qu'un seul genre : Sorghum qui se divise en plusieurs espèces (voir fiche spéciale p. 000).

2. LES « MILS »

Comprennent actuellement 9 genres distincts.

2.1. Six d'entre eux appartiennent à la tribu des Panicées.

Ce sont :

2.1.1. *PANICUM MILIACEUM* (millet commun, millet à grappe...)
Originaire d'Asie, il est cultivé en Afrique orientale, en Europe orientale (URSS) et en Asie. Poids de 1 000 graines = 5 à 7 g.

2.1.2. *SETARIA ITALICA* (millet des oiseaux, moha, panis, Italian Millet,...)
Cultivé en Inde et Malaisie. Poids de 1 000 grains : 1,6 à 4 g.

2.1.3. *ECHINOCHLOA FRUMENTACEA.*
Cultivée en Inde. Poids de 1 000 grains : 3 à 4 g.

2.1.4. *DIGITARIA EXILIS.* C'est le fonio.
C'est une petite plante (45 cm). Les inflorescences sont formées de 2 à 4 rameaux spiciformes très minces de 5 à 12,5 cm de longueur.
Le fonio est cultivé en Guinée, Sierra Leone, Mali, Burkina-Faso et Nord-Nigeria. Poids de 1 000 grains : 0,5 à 0,6 g.

2.1.5. *PASPALUM SCROBICULATUM.*
Cette espèce, cultivée en Inde, est spontanée en Afrique. Poids de 1 000 grains : 5 à 6 g.

2.1.6. *PENNISETUM TYPHOIDES* (mil, petit mil, mil à chandelle, mil penicillaire, mil perlé...).

En général quand une personne parle de « mil » (sans « s ») c'est à *Pennisetum typhoïdes* qu'elle pense. Mais ce n'est pas certain et il est préférable de s'en assurer. Voir pour cette importante culture, la fiche « Mil » page 000. Poids de 1 000 grains : 4 à 8 g.

2.2. Les trois autres genres sont répartis dans trois tribus différentes :

2.2.1. TRIBU DES CHLORIDÉES.

Eleusine coracana (Eleusine, Coracan...). C'est une céréale robuste de 0,60 à 1,20 m, caractérisée par ses inflorescences formées d'un faisceau de 5 à 10 épis.

Elle est cultivée surtout en Inde, mais aussi un peu en Afrique (Centrale et Ethiopie). Poids de 1 000 grains : 2 à 3 g.

2.2.2. TRIBU DES AGROSTIDÉES.

Eragrostis (tef, teff, taff, tif...).

Eragrostis abyssinica est le teff de l'Éthiopie.

Il y représente 49 % des céréales en surface et 40 % en production.

C'est une plante de taille peu élevée (60 à 80 cm) à inflorescence en panicules.

En dehors de l'Éthiopie, la culture de cette plante a été introduite pour le fourrage en Afrique du Sud, en Inde et Australie. Poids de 1 000 grains : 0,3 à 0,5 g.

2.2.3. TRIBU DES MAYDÉES.

Coix lacryma jobi (larme de Job...).

C'est une plante à grand développement (1,20 à 1,80 m).

Les fleurs femelles sont entourées d'un involucre qui durcit à maturité et dans lequel se trouve le grain.

L'ensemble forme un faux fruit globuleux (larme de Job).

Elle est cultivée pour son grain en Inde, Malaisie, Vietnam et Japon.

IGNAME

Dioscoréacée — **Yam**
Dioscorea — **Ñame**

1. BUTS DE LA CULTURE

L'igname joue un rôle essentiel dans l'économie des peuples agriculteurs des régions tropicales. Son nom, dans le dialecte guinéen, signifie exactement « manger ». Ses tubercules souterrains, riches en amidon en font l'aliment par excellence, celui sans lequel « on n'est pas rassasié ».

Il existe en Afrique des ignames d'origine locale, comestibles ou non, et des ignames introduites et cultivées en raison de leurs qualités propres.

2. BOTANIQUE

2.1. Description

Plante herbacée à tige volubile.

Tubercules solitaires ou en faisceaux digités de couleur brune avec chair blanche, jaune ou rougeâtre.

Poids variant de 3 à 5 kg, mais pouvant atteindre 15 kg (et un mètre de longueur) pour *Cayenensis* et *Alata* (moins pour *Trifida* et *Esculenta*).

2.2. Variétés

Le genre *Dioscorea* comporte plusieurs espèces qui se différencient par leurs caractéristiques botaniques (tiges, fleurs, fruits), par la présence ou l'absence de bulbilles à l'aisselle des feuilles et par le sens d'enroulement des tiges. Au sein de chaque espèce, les variétés (clones) se distinguent par l'aspect des tubercules, la couleur de leur chair (blanche ou jaune), les caractéristiques de l'amidon et l'adaptation écologique.

Caractères des principales espèces et variétés :

	Origine	Caractères principaux
D. cayenensis (Yellow yam)	Afrique	Tiges rondes épineuses, feuilles larges cordées, une seule récolte tardive, tubercules courts assez nombreux.
D. rotundata (White yam)	Afrique	Tiges rondes épineuses, feuilles larges cordées, deux récoltes, tubercules longs peu nombreux.
D. alata	Asie	Tiges quadrangulaires ailées, feuilles simples, tubercules simples de formes variées.
D. bulbifera (Aeria yam)	Asie	Tiges rondes, grandes feuilles simples, bulbilles aériennes.
D. trifida (Cousse couche)	Amérique	Tiges quadrangulaires lisses, feuilles à 3 à 5 lobes, tubercules petits et nombreux.
D. dumetorum (Bitter yam)	Afrique	Tiges fortes et épineuses, feuilles trifoliées, tubercules nombreux souvent fusionnés en un seul, toxiques dans les formes sauvages.
D. esculenta	Asie	Tiges épineuses, feuilles simples, petits et nombreux tubercules.

En Afrique, les espèces les plus largement cultivées sont *D. cayenensis*, *D. rotundata* et *D. alata*, *D. dumetorum* ne l'est que dans des aires restreintes, de même que *D. bulbifera* et *D. esculenta*. *D. trifida* n'est cultivée qu'en Amérique, elle est très populaire avec certaines variétés de *D. alata* et du complexe *cayenensis — rotundata* aux Antilles.

GRAMINÉES
(Tableau

Tribu	Nom scientifique	Nom commun	Régions de culture principale
Andropogonée	*Sorghum vulgare*	Sorgho commun	Régions intertropicales pour consommation humaine
Panicée	*Panicum miliaceum*	Millet commun	Afrique orientale - Europe orie tale - Asie
	Panicum miliare		Inde et Australie
	Setaria italica	Millet des oiseaux	Inde et Malaisie
	Echinochloa pyramidalis	Gros Bourgou	Afrique
	Echinochloa stagnina	Petit Bourgou	Afrique
	Echinochloa crusgalli		
	Echinochloa crus/edulis	White panicum	Inde
	Echinochloa-crus/ frumentacea	Japanese millet	Japon
	Digitaria exilis	Fonio	Afrique occidentale
	Paspalum scrobiculatum		Afrique
	Paspalum aragu		Inde
	Pennisetum typhoïdes	Mil à chandelle ou mil pénicillaire	Afrique
Chloridée	*Eleusine coracana*	Fonio ou mil et cara- can	Inde-Afrique centrale - Éthio Ouganda
Agrostidée	*Eragrostis abyssinica*	Tef	Éthiopie
Maydée	*Coix lacrymajobi*	Larme de Job	Inde - Extrême-Orient

ALIMENTAIRES
récapitulatif)

Exigence	Hauteur des tiges	Poids de 1 000 graines	Poids de semences à l'Ha	Densité	Durée du cycle végétatif	Rendement qx
Jours courts (variétés africaines) Pluviom. > 600 mm	1 - 5 m		4 - 8 kg	10 000 - 25 000 pl/ha	90 - 200 j.	6-20 qx
Sols pas trop filtrants. Plus ou moins résistant à la sécheresse	1,5 m	5 - 7 g	12 kg	80 000 pl/ha		8-20 qx
Forte intensité lumineuse - exigence en eau < maïs	0,8 - 2 m	1,6 - 4 g	6 - 8 kg	100 000 - 111 000 pl/ha		10-14 qx
	2 m	3 - 4 g		10 000 15 000		
	0,45 m	0,5 - 0,6 g 5 - 6 g	35 kg	volée	100 j.	8-20 qx
ccepte des sols légers, pousse à partir de 200 mm	jusqu'à 3 m	4 - 8 g	3 - 12 kg	10 000 25 000 pl/ha	hâtif 60 j. tardif 130 - 150 j.	3-12 qx
ousse à plus de 1 500 m en Éthiopie	0,60 - 1,20	2 - 3 g	3 - 10 kg	volée	180 - 220 j.	6-8 qx
- id -	0,60 - 0,80	0,3 - 0,5 g	10 - 12 kg	volée	120 - 200 j.	18-20 qx
usse jusqu'à 1 700 m ; nécessite des pluies abondantes	1,20 - 1,80	85 - 90 g	10 - 20 kg	40 000 pl/ha	160 - 220 j.	20 qx

3. ÉCOLOGIE

Les espèces et variétés cultivées ont des exigences écologiques strictes.

La limite de la forêt tropicale et de la savane constitue le milieu le plus favorable à la production de l'igname. Dans cette zone *D. cayenensis* est adaptée aux zones les plus humides et *D. rotundata* à celles plus sèches. *D. alata* y est appréciée pour ses qualités de conservation.

C'est une plante exigeante en eau dans les cinq premiers mois. En moyenne, la pluviométrie annuelle doit être supérieure à 1 500 mm dont 400 mm entre les quatorzième et vingtième semaines de végétation.

Température moyenne : 23 à 25° C.

L'igname est exigeante sur la qualité physique des sols qui doivent être riches en potasse et de pH 6 à 7. En outre, elle demande un volume important de terre ameublie.

La préparation du sol par labour, profond et billonnage mécanique (culture attelée ou motorisée) a donné des résultats expérimentaux satisfaisants en Côte d'Ivoire.

4. CULTURE

Dans les régions où les systèmes agricoles modernisés progressent, comme dans la zone de savane de Côte d'Ivoire (cotonnier, riz pluvial), la culture de l'igname commence à poser de sérieux problèmes pour le développement agricole. En effet, cette espèce constitue la nourriture de base dans ces régions (Côte d'Ivoire, Bénin) ; c'est une culture sûre, dont les rendements sont stables et relativement peu sensibles aux aléas climatiques, mais elle est difficile à intégrer dans un système modernisé, en raison notamment de ses exigences en main-d'œuvre.

4.1. Plantation

Les exigences de l'igname en matière de sol (structure et matière organique) et sa sensibilité aux mauvaises herbes la font placer en culture traditionnelle à jachères longues en tête d'assolement.

Les semenceaux (tubercules entiers ou partie proximale portant les bourgeons) doivent peser de 200 à 300 g.

La désinfection des semenceaux est recommandée ; aux Antilles on opère par trempage dans une solution de manèbe (1 200 g de m. a. pour 50 l d'eau) et sèchage pendant 48 heures.

La plantation est effectuée en buttes de 1,25 à 1,50 m de diamètre et de 20 à 40 cm de haut, en exposition ombragée.

La densité de plantation est très variable selon la pluviosité, la nature des sols et la diversité des types cultivés souvent en mélange dans le même champ : elle varie ainsi de 5 000 à 15 000 pieds/ha dans le centre de la Côte d'Ivoire, mais, en culture pure, elle reste remarquablement constante pour des conditions précises de pluviosité, de sols et de types cultivés donnés.

Dans les régions à longue saison pluvieuse les ignames sont plantées aux premières pluies ou peu avant ; là où la saison pluvieuse est plus courte on plante

souvent deux ou trois mois avant les pluies et les plantations précoces donnent des rendements supérieurs à celles effectuées au début des pluies.

La levée s'étale normalement sur une période de 15 à 20 jours qui peut être plus longue dans le cas de plantations précoces.

Les tubercules présentent après récolte une période de dormance de trois à six mois.

Cycle végétatif : 200 jours pour l'igname blanc, 350 jours pour l'igname jaune.

L'utilisation d'un procédé mécanique de plantation est à l'étude en Côte d'Ivoire ; d'après les premiers résultats des essais, il semble possible de planter 1 ha en 6 à 7 heures avec des semenceaux d'un poids de l'ordre de 200 g, à une densité de 10 000 pieds/ha (billons espacés de 1,25 m ; 0,80 m entre pieds sur le billon).

4.2. Entretien

L'igname est très sensible aux mauvaises herbes pendant les 100 premiers jours suivant la plantation, en raison notamment :

— de la levée tardive (90 % des plantes lèvent entre le 25e et le 40e jour après la plantation) ;
— de l'échelonnement de la levée surtout si on utilise des semenceaux provenant à la fois de têtes et de queues de tubercules mères ;
— du développement relativement peu rapide des parties aériennes chez certaines variétés (*D. cayenensis* tardives).

En culture traditionnelle, sur défriche, l'incidence des mauvaises herbes est assez faible et 2 ou 3 sarclages manuels sont suffisants. Mais dans un système de culture continue le nombre de sarclages doit être augmenté - (80 journées/ha). Désherbage : 1,4 kg de métribuzin appliqué à l'apparition des premières pousses d'igname avec 250 l/ha d'eau.

4.3. Fumure

On recommande l'apport de 15 à 20 t de fumier bien décomposé à l'hectare ; des réponses à des apports de 100 à 200 kg de sulfate d'amoniaque ont été obtenues au Nigeria et au Ghana ; à la Jamaïque, 250 kg d'engrais 6-18-25 ont été utilisés avec succès.

4.4. Récolte et rendements

Il convient de distinguer le mode de récolte selon qu'il a lieu en une ou deux fois la même année :

— certains types se récoltent en effet une première fois après 5/6 mois de végétation puis produisent après 4/5 mois une repousse essentiellement destinée à la replantation (semenceaux) ; il s'agit de types précoces dont les tubercules se conservent mal et dont la récolte n'apparaît pas mécanisable ;
— d'autres ne produisent au contraire qu'une récolte unique après 8/9 mois parmi laquelle on devra prélever les semenceaux ; il s'agit de types tardifs dont les tubercules se conservent en général mieux notamment en terre ;
— enfin certains types peuvent avoir un comportement alternatif à une ou deux récoltes par an selon la pluviosité.

Les rendements sont de l'ordre de 20 t/ha, mais peuvent facilement doubler avec de bonnes conditions culturales.

5. ENNEMIS ET MALADIES

Nématodes	Pourriture des tubercules et racines.
Heteroligus	Dégâts sur tubercules et racines.
Crioceris	Dégâts sur jeunes pousses.
Aspidielli	Dégâts sur tubercules en stocks.
Botryodiplodia, Pythium, Viroses, Mosaïque	Pourriture des tubercules (sélection des semenceaux).
Phylleutypa	Balais de sorcière.
Glomerella cingulata	Taches sur feuilles, dessèchement des tiges.
Corticium rolfsii	Dépôts sur feuilles et collets.

6. TECHNOLOGIE

Préparation et utilisation.

L'amidon est plus concentré à l'extrémité proximale (yeux). La prise d'échantillon doit être effectuée au milieu du tubercule. Certaines ignames contiennent des saponines, stéroïdes utilisées dans l'industrie de la cortisone.

La partie comestible représente 86 % des tubercules.

Elle se décompose ainsi : eau, 75 % ; protéines, 2 % ; glucides, 23 % ; lipides, 0,1 %.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux : (jt/ha)

Préparation du sol	50
Plantation	12
Tuteurage	60
Entretien	80
Récolte-triage	50 - 70
Total	**252 - 272**

7.2. Production :

Les 2/3 environ de la production mondiale d'igname sont récoltés dans la zone s'étendant du centre de la Côte d'Ivoire au Cameroun, où cette culture constituait l'aliment de base essentiel avant la récente extension du manioc. A lui seul, le Nigeria produit presque les trois quarts de la récolte mondiale.

MAÏS

Graminée — **Maïze ou Corn**
Zea mays — **Maïz**

1. BUTS DE LA CULTURE

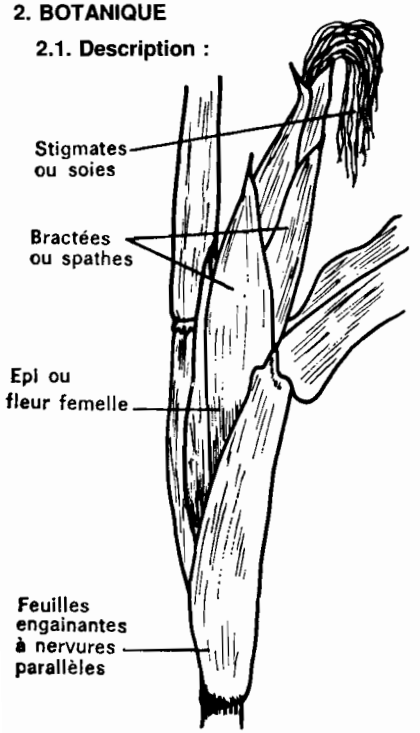
Avec le riz et le blé, le maïs est une des trois graminées les plus cultivées dans le monde. Ses grains servent à l'alimentation de l'homme en épis frais ou en semoule et des animaux (bovins, porcs, volailles). L'amidon extrait industriellement des grains sert à préparer des bouillies pour enfants, des biscuits, de la bière, des colles, des textiles, des apprêts pour tissus, etc... Les germes de maïs donnent de l'huile qui sert pour l'alimentation humaine, pour la fabrication de margarines, de savons, de vernis, de textiles artificiels, etc.

Enfin, on peut cultiver le maïs comme fourrage vert pour les animaux ou pour faire de l'ensilage pour les bovins.

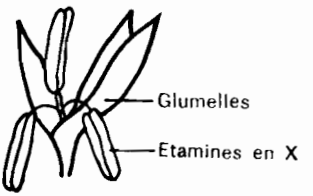
2. BOTANIQUE

2.1. Description :

LA MORPHOLOGIE DU MAÏS



L'ÉPI AU STADE FLORAISON



UNE FLEUR MÂLE

2.2. Généralités et sélection

Le maïs est originaire d'Amérique tropicale. Les variétés sont classées suivant : la durée de leur cycle végétatif d'une part, les caractères de leurs grains d'autre part (couleur, forme, texture...).

Grâce aux facilités de croisement (entraînées par le caractère allogame du maïs) et à l'effet d'hétérosis, les sélectionneurs américains et européens ont obtenu des hybrides hautement productifs.

La création de maïs hybrides à formule fixe, a l'inconvénient d'exiger le renouvellement des semences à chaque culture, ce qui nécessite une organisation complexe de production de semences.

Les travaux d'amélioration variétale du maïs doivent tenir compte des difficultés de création d'une telle organisation. Les formules de sélection sont donc multiples et adaptées aux conditions de production des semences :

— variétés locales améliorées,
— variétés introduites,
— composites de variétés locales et/ou introduites,
— variétés synthétiques résultant du croisement de lignées stabilisées, et pouvant être exploitées en génération avancée,
— hybrides simples ou complexes.

Les principaux critères de sélection du maïs sont :

1° Productivité

2° Adaptation du cycle

— dans les régions à deux saisons des pluies, on recherche les variétés hâtives (90 à 100 jours du semis à la maturité), permettant de réaliser deux cultures par an (par exemple, maïs coton au Bénin et en Côte d'Ivoire) ; dans cette zone climatique, les maïs poussant en altitude ont souvent un cycle long allant jusqu'à cent cinquante jours (Ouest Cameroun, Éthiopie).
— dans les régions à une seule saison des pluies, la durée du cycle végétatif doit être adaptée à la longueur de l'hivernage (en Afrique occidentale par exemple : 110 à 120 jours en zone soudano-guinéenne, 90 jours en zone soudano-sahélienne).

3° L'architecture de la plante

On cherche à réduire le développement végétatif du maïs.

4° La résistance à la verse

On cherche à réduire la taille du maïs et notamment à abaisser l'emplacement de l'épi sur la tige.

5° Protection de l'épi

On recherche des spathes recouvrant l'épi complètement de façon à le protéger.

6° La tolérance vis-à-vis des parasites

La rouille américaine a perdu de son importance dans les régions humides d'Afrique occidentale grâce à l'introduction de gènes de résistance dans les variétés locales, notamment au Bénin (Agbo 5 x 6. Scar III. Composite Niaouli 7) et en Côte d'Ivoire (Composite Jaune de Bouaké = C.J.B)

Les helminthosporioses (*H. maydis* en basse altitude, *H. turcicum* en altitude) sont présentes dans beaucoup de régions.

Les viroses à stries, et plus particulièrement le Maïze Streak Virus (MSV), constituent un problème grave dans de nombreux pays d'Afrique. Des programmes de création de variétés résistantes sont en cours notamment au Nigeria et à l'île de la Réunion.

7° La qualité du grain

Un gène provoquant une haute teneur en lysine (opaque 2) a été identifié aux États-Unis. Son utilisation directe est délicate car il donne un grain très farineux, peu apprécié des utilisateurs. Des études complexes de gènes modificateurs sont en cours pour obtenir un grain vitreux et à haute teneur en lysine.

2.3. Variétés locales améliorées et variétés introduites

La production de semences de ces variétés ne pose pas de problèmes particuliers, si ce n'est l'isolement des parcelles semencières. Des variétés bien adaptées aux conditions écologiques sont vulgarisables dans plusieurs pays africains :

a) **au Bénin,** on peut citer des maïs améliorés, d'obtention déjà ancienne ; dans le sud du pays, il s'agit surtout :
— des maïs blancs d'un cycle de 115-120 jours comme Gnonli, SCAR III (résistant à la rouille) ou d'un cycle de 100 jours comme Niaouli 7.
— des maïs jaunes Agbo 5 x 6.

Dans le nord du Bénin, il faut aussi mentionner le Jaune d'Ina d'un cycle de 120 jours.

b) **au Sénégal** (Casamance), les formes locales Z M 10 à grain blanc et Z M 19 à grain jaune servent de matériel de départ pour les travaux de sélection.

c) **au Niger**, le maïs de Kolo à grain jaune est bien adapté.

d) **au Burkina Faso**, on dispose d'excellentes variétés d'origine locale :
— variétés très précoces pour la zone centre (Jaune Flint de Saria) ;
— variétés intermédiaires à grain jaune (Jaune de Fô) ;
— variétés tardives à grain blanc (Massayomba).

e) **en Côte d'Ivoire**, des variétés locales tardives et semi-tardives (plus précoces dans le sud du pays) ont été repérées. Parmi les meilleures, on peut citer le Blanc de Ouollo (Korhogo).

f) **dans l'ouest du Cameroun,** deux variétés introduites se sont montrées bien adaptées : Amarillo de Cuba, Mexican 5.

g) **au Mali**, plusieurs formes locales ont été repérées. Zanguerini (variété précoce) et Témantié (variété tardive) sont largement vulgarisées.

h) **enfin, en Mauritanie** (sur la vallée du fleuve Sénégal), la variété Maka est bien adaptée aux conditions traditionnelles de culture.

Dans de bonnes conditions de culture, toutes ces variétés produisent plus de 30 qx/ha et le rendement atteint 50 qx/ha dans certains cas (Cameroun, Burkina Faso, Sénégal).

2.4. Variétés synthétiques, composites, hybrides :

De nombreuses formules sont actuellement développées. On peut distinguer :

— les variétés synthétiques, provenant d'au moins cinq lignées autofécondées, exploitables en génération avancée et vulgarisables;

— les variétés composites, constituées par un nombre élevé de diverses composantes, telles que lignées, hybrides, populations... et formant un matériel de base très diversifié au point de vue génétique ;

— les hybrides classiques ou complexes à fortes potentialités dont la semence doit être renouvelée chaque année.

Ainsi, on peut citer :

a) **en Côte d'Ivoire** : Composite Jaune de Bouaké, résistant à la rouille, assez hâtif (60 jours du semis à la floraison), IRAT 200 composite très productif.

Plusieurs hybrides complexes : IRAT 81, semi-tardif (120 jours) à grain blanc, IRAT 83, semi-précoce (105 j.) à grain jaune. Ces hybrides sont valables pour des zones écologiques dépassant largement la Côte d'Ivoire.

b) **dans l'ouest Cameroun** : deux hybrides issus de croisements entre des variétés synthétiques d'origine locale, Amarillo de Cuba et Mexican 5, peuvent produire 45 à 50 qx/ha. Z 290, composite d'altitude.

c) **dans le sud Bénin**, Composite Niaouli 7 ; l'hybride N H 1 précoce (105 jours) et très productif (40 à 50 qx/ha) est vulgarisé.

d) **dans le nord Bénin**, Composite Jaune d'Ina amélioré pour la tolérance aux viroses à stries.

e) **à Madagascar** : les variétés améliorées type 266 et 383 et l'hybride 264 X Natal Yellow Tooth sont très productifs.

f) **au Mali** : Tuxpeno 1 C15, Composite à grain blanc et bonnes potentialités.

g) **à la Réunion**, IRAT 143 et IRAT 279 hybrides incorporant Révolution et des lignées introduites.

h) **au Sénégal**, les hybrides complexes : Jaune de Séfa, et Blanc de Séfa sont vulgarisés.

j) **au Burkina Faso**, IRAT 80, variété synthétique jaune, IRAT 171 Composite à grain blanc et de bonne stabilité du rendement, SR 22 variété tolérante au MSV, et les hybrides IRAT 100 et 298.

Parmi ces récentes créations, on doit signaler le grand intérêt agronomique des maïs très productifs à cycle court, bien adaptés aux régions où il est possible de réaliser deux cultures par an comme N H 1 au Bénin. De tels types variétaux constituent les formules les plus intéressantes pour le développement agricole de ces zones climatiques. Certaines de ces obtentions présentent une résistance à sitophilus zeamays, parasite des grains stockés.

3. ÉCOLOGIE

3.1. Climat

Le maïs est une espèce exigeante en eau ; la période la plus critique à cet égard se situe au moment de la floraison et immédiatement après. Ainsi, au Niger et au Burkina Faso, on estime les besoins en eau à environ 5,2 - 5,5 mm/jour jusqu'au soixantième jour (floraison), 6 mm/jour du soixantième au quatre-vingt-dixième jour, et moins de 4 mm/jour après le quatre-vingt-dixième jour, soit plus de 600 mm pour un maïs de 120 jours.

Les températures doivent être élevées et régulières. En un lieu donné la somme des températures moyennes observées entre la levée et la floraison mâle semble bien être une caractéristique variétale ; ainsi, dans la région montagneuse de l'Ouest du Cameroun, les valeurs observées sont de 1 500° pour Cuba Yellow à cycle long, 990° pour INRA 400 plus hâtif.

Un abaissement de la température (altitude, latitude, époque de culture) entraîne un allongement du cycle cultural.

La sensibilité au photo-périodisme est un caractère que le sélectionneur s'efforce généralement d'éliminer ou d'atténuer. En région tropicale, cette tâche est difficile, car la durée du jour est toujours inférieure à 14 heures, ce qui ne permet pas l'extériorisation du photo-périodisme.

3.2. Sols

Le maïs est une plante exigeante, très sensible aux variations de fertilité du sol, répondant bien aux apports d'engrais et notamment d'azote. C'est pourquoi, cette espèce a souvent été utilisée pour mettre en évidence les carences minérales du sol. Elle affectionne particulièrement les sols riches en matière organique et doués de bonnes propriétés physiques. Aussi est-elle souvent cultivée autour des habitations (culture de case).

4. CULTURE

4.1. Généralités

Les conditions de culture du maïs sont assez variées :

— la culture de case relativement intensive a souvent pour but de fournir un aliment de soudure, récolté avant la maturité complète (région soudanienne d'Afrique de l'Ouest) ;

— en plein champ, la culture pure est assez répandue en certains pays (Bénin), mais on rencontre le plus souvent le maïs en association avec d'autres espèces (coton, igname, riz...). C'est en association avec les cultures industrielles que le maïs bénéficie des techniques les plus perfectionnées, avec le caféier au Cameroun, avec les jeunes plantations de canne à sucre à la Réunion ;

— la culture de décrue se rencontre dans les régions soudano-sahéliennes (Mali, Tchad) ;

— la culture irriguée est encore exceptionnelle.

Variétés de maïs les plus courantes sous climats tropicaux

VARIÉTÉ	TYPE	CYCLE semi-récolte (jours)	GRAIN		Caractéristiques
			Couleur	Texture	
GNONLI	Local	115-120	Blanc	Farineux	Sensible à la rouille et aux charançons
NIAOULI 7	Composite	100	Blanc	1/2 vitreux	Latitude 7°, résistant aux charançons
AGBO 5 X 6 Jaune	Local/amélioré	100	Blanc	Farineux	
JAUNE D'INA	Local	120	Jaune	Farineux	Latitude 10°, fortes potentialités
ZM 10	Local/amélioré	100	Blanc	Vitreux	Sensible à la rouille
ZM 19	Local/amélioré	100	Jaune	Vitreux	Sensible à la rouille
P3 KOLO	Local/amélioré	100	Jaune	Vitreux	
JAUNE FLINT de SARIA	Local	90-100	Jaune	Vitreux	Tolérant à la sécheresse
JAUNE de FO	Local	110-115	Jaune	1/2 vitreux	
MASSAYOMBA	Local	120	Blanc	Vitreux	Sensible à la verse
BLANC de OUOLLO	Local	90	Blanc	Vitreux	
AMARILLO de CUBA	Synthétique	115	Jaune	-	Résistant à la rouille
MEXICAN 5	Synthétique	115	Blanc	1/2 farineux	Résistant à la rouille
ZANGUERINI	Local	90-100	Jaune	Vitreux	
TIEMANTIE	Local	110-120	Jaune	Vitreux	
MAKA	Local	100-110	Jaune	Vitreux	Large adaptation
CJB	Composite	100	Jaune	Vitreux	

IRAT 81	Hybride	120	Blanc	farineux	Fortes potentialités
IRAT 83	Hybride	110	jaune	1/2 vitreux	Fortes potentialités
Z 290	Composite	120	Blanc	1/2 farineux	
NH 1	Hybride	100	Blanc	Vitreux	Résistant à la rouille
IRAT 200	Composite	110	Jaune	1/2 farineux	Fortes potentialités
266	Polyhybride	120-130	Blanc		
264	Hybride	120-130	Jaune	Vitreux	
383	Polyhybride	120-130	Blanc/Jaune	1/2 vitreux	
TUXPENO 1 C15	Composite	105-115	Blanc	Farineux	Bonnes potentialités
IRAT 143	Hybride	120-130	Jaune	Farineux	Tolérant aux viroses à stries
IRAT 279	Hybride	120-130	Jaune	Farineux	Tolérant aux viroses à stries
JAUNE de SÉFA	Hybride	100	Jaune	Vitreux	
BDS III	Hybride	100	Blanc	Vitreux	
IRAT 80	Synthétique	100-110	Jaune	1/2 vitreux	
IRAT 171	Composite	100-110	Blanc	1/2 vitreux	Bonne stabilité du rendement
SR 22	Composite	105-115	Blanc	farineux	Tolérant au MSV
IRAT 100	Hybride	100-110	Blanc	1/2 vitreux	
IRAT 298	Hybride	100-110	Blanc	Farineux	Architecture réduite

Du fait de la possibilité d'obtenir des variétés à court cycle végétatif, le maïs présente un intérêt agronomique :
— Dans la région à deux saisons de culture où il est possible de le faire alterner avec le coton.
— Dans les régions à une saison de culture où la récolte peut être faite avant l'arrêt des pluies, ce qui permet de labourer et d'enfouir les pailles avant la saison sèche ; c'est notamment le cas dans la zone soudanienne de l'Afrique de l'Ouest, où des systèmes améliorés mettant en œuvre ces façons culturales sont actuellement expérimentés.

4.2. Techniques culturales

Le maïs est très sensible à l'amélioration des propriétés physiques du sol ; l'augmentation de rendement due au seul labour (qui augmente notamment les réserves d'eau du sol) est généralement élevée et atteint couramment 2 %. Suivant les régions, la culture est réalisée à plat (cas le plus fréquent) sur billons ou sur buttes.

Il est recommandé de semer tôt, au début des pluies, et de traiter préalablement les semences avec un mélange de 80 % de Thirame + 20 % de Lindane à raison de 200 g de produit pour 100 kg de semence. Tout retard entraîne une baisse de rendement, dont la valeur dépend aussi de la variété.

La densité de peuplement optimale est généralement comprise entre 40 et 60 000 plants à l'hectare. Voici quelques écartements fréquemment recommandés :

PAYS	DENSITÉ plantes/ha	ÉCARTEMENTS (en m)
Sud-Bénin		
1re saison	40 000	0,80 x 0,30
2e saison	25 000	0,80 x 0,50
Cameroun	50 000	0,89 x 0,25
Côte d'Ivoire	50 000	0,80 x 0,25
Burkina Faso	31 000	0,80 x 0,40
La Réunion	47 500	0,70 x 0,30
Sénégal	44 000	0,90 x 0,25

Le poids de semences est de l'ordre de 15 à 25 kg/ha (pour 45 à 50 000 plants à l'hectare).

En cas de semis en poquets, mettre 3 - 4 graines ensemble et démarier à une plantule. En cas de semis en ligne, mettre un grain tous les 8 - 10 cm. La valeur optimale de la densité dépend notamment :
— de la variété utilisée (densité plus forte avec les variétés à faible développement végétatif) ;
— des conditions d'alimentation hydrique ;

— du niveau de fertilité du sol.

Une lutte efficace contre les mauvaises herbes constitue une des conditions essentielles de la réussite de la culture. Les sarclages devront être superficiels de façon à ne pas léser le système radiculaire du maïs.

4.3. Fumure

Le maïs est la plante qui réagit le mieux aux fortes fumures. La limite de la fertilisation à employer est fonction du prix d'achat des engrais en comparaison avec le prix de vente du supplément de grain obtenu.

Le premier facteur limitant est généralement l'acide phosphorique. Un apport de 40 à 50 kg/hectare de P_2O_5 au moment du semis est toujours rentable.

Pour l'azote, la quantité à apporter pourra varier entre 20 et 150 unités à l'hectare suivant la richesse du terrain et les circonstances économiques. Il y aura avantage à épandre les engrais azotés, moitié au semis, moitié à l'apparition des fleurs mâles.

L'apport de potasse se justifiera la plupart du temps lorsqu'il sera possible d'obtenir de gros rendements. 100 unités de K_2O pourront être alors utilisées.

Lorsqu'ils sont possibles, les apports de fumier de ferme sont recommandés : le maïs réagit très positivement à la fumure organique même à faible dose : cet effet est particulièrement net dans les sols épuisés (terre de barre dégradée du Sud Bénin).

4.4. Rendements

On obtient 500 à 800 kg/ha en culture traditionnelle.

Dans les très bonnes conditions, on atteint 6 à 7 t/ha en station et 3 à 4 t en grande culture.

En ce qui concerne la production fourragère, on peut atteindre 40 à 60 t/ha de matière verte, en récoltant au stade « grain pâteux ».

4.5. La récolte

Le maïs n'est jamais récolté sec : sa présence sur la rafle, toujours plus humide que le grain, empêche son humidité de descendre jusqu'à 12 %, taux nécessaire à une bonne conservation. Le grain devra donc nécessairement être séché.

On peut récolter soit les épis, soit les grains.

La récolte en épis est presque toujours manuelle en Afrique (25 journées de travail/ha), mais elle peut être mécanisée (corn-pickers).

La récolte en grain se fait mécaniquement à l'aide de corn-shellers.

4.6. Le séchage

Les épis sont séchés au soleil, si possible démunis de leur spathe (dans les zones où la récolte se fait en saison sèche).

Lorsque la récolte est réalisée au cours d'une période pluvieuse, l'utilisation des séchoirs est recommandée.

Le « crib » peut être employé, sa largeur dépend de l'humidité de l'air et de la ventilation : dans la plupart des pays 0,70 m est un maximum.

5. MALADIES ET PARASITES

Les maïs actuellement cultivés en Afrique tropicale francophone sont, pour la plupart, issus de populations bien adaptées aux conditions locales ; ils sont assez résistants aux maladies, et les dégâts causés par les insectes au champ sont également restreints, alors que les pertes en cours de conservation sont parfois élevées.

5.1. Champignons

a) **La rouille américaine** (*Puccinia polyspora*).
Le principal symptôme est constitué par des pustules rouille sur les feuilles. Des variétés tolérantes ont été créées par l'IRAT en Afrique de l'Ouest (Bénin, Côte d'Ivoire).

b) **Brûlures des feuilles**
Plusieurs espèces d'Helminthosporium sont responsables de ces affections :
H. maydis
H. turcicum
H. carbonum (pratiquement inconnu en Afrique de l'Ouest).
On lutte contre ces champignons en utilisant des variétés résistantes.

c) **Charbon**
Le principal est dû à *Sphacelotheca reiliana* dont la distribution actuelle en Afrique est très restreinte : Cameroun, Madagascar (Plateau).

d) **Cercospora**
C. maydis se manifeste par des taches plus ou moins arrondies sur les feuilles, leur donnant parfois un aspect tigré.

5.2. Virus

Trois viroses sont importantes en Afrique sur maïs :
— le Maïze Streak Virus (MSV) ;
— le Maïze Stripe Virus (MStp V) ;
— le Maïze Mosaïc Virus (MMV).
Au début des années 70 puis en 1983-1984 de fortes attaques, principalement dues au MSV, ont été observées en Afrique de l'Ouest. Grâce aux travaux de création variétale menés au Nigeria et à l'île de la Réunion, de nombreuses variétés et hybrides tolérants aux viroses sont disponibles. Certains d'entre eux sont déjà vulgarisés (SR 22 au Burkina Faso, IRAT 279 à la Réunion,...).

5. 3. Insectes

Plusieurs borers doivent être signalés :
Sesamia spp
Busseola fusca (très important en Afrique tropicale humide)
Eldana saccharina (très fréquent au Sénégal, en Côte d'Ivoire, en Ouganda).
Chilo partellus en Afrique de l'Est.
La lutte chimique contre les borers n'est souvent pas rentable. En cas de fortes attaques sur des maïs hautement productifs, on peut cependant envisager

l'épandage d'insecticides granulés (Fenitrothion, Parathion, Birlane, Furadan, pyrethrinoïdes de synthèse et endosulfan) disposé dans les « cornets » foliaires, au cours de la période de croissance de la tige.

Les recherches concernant la lutte biologique contre les borers sont en cours. Des résultats intéressants ont été obtenus par l'IRAT à Madagascar avec l'introduction réussie de *Pediobus furvum*.

5.4. Protection des stocks

Les insectes des stocks les plus importants en Afrique sont :
— *Sitophilus oryzae*
— *Trogoderma granarium*
— *Rhizoperta dominica*
— *Tribolium spp.*
— *Calandra oryzae*

La spathe intacte constitue une barrière efficace. Une protection contre les insectes peut se faire, par exemple en trempant les épis despathés dans une solution aqueuse à base de malathion.

La protection des greniers traditionnels a été réalisée au Togo par poudrage au Lindane des épis non despathés (traitement en sandwich et traitement extérieur toutes les trois semaines).

La conservation du maïs en grain peut être réalisée de façon satisfaisante par l'agriculteur à l'aide de Pyrimiphos-méthyl. L'association de ce produit et de dichlorvos augmente la toxicité pour l'utilisateur.

La deltaméthrine donne aussi de bons résultats.

5.5. Protection des semences

Il est nécessaire d'employer des produits associant un insecticide (Lindane, Aldrine,...) et un fongicide (Thirame). L'utilisation de produits insecticides systémiques tels que le carbofuran ou le carbosulfan permet une protection de la plantule après germination ; toutefois ces produits sont onéreux et, pour certains, toxiques.

5.6. Mauvaises herbes

Les premières études concernant l'emploi des herbicides chimiques ont mis en évidence l'intérêt des produits suivants dont la rémanence est cependant, très généralement, inférieure à 2 mois :
— Atrazine (5 kg/ha de M.A.) ; ce produit se conserve assez longtemps dans le sol, empêchant de cultiver le niébé immédiatement après le maïs.
— Mélange Atrazine (1,6 kg/ha de M.A.) et Alachiore (1 kh/ha de M.A.) en post-levée des adventices (Côte d'Ivoire).
— Mélange amétryne + 2.4.5. TP aux doses respectives de 2 et 0,75 kg/ha en post-levée (Côte d'Ivoire).
— A la Réunion, on emploie l'atrazine et la simazine (1 kg/ha) ainsi que l'ester éthylique du 2.4. D (2 à 3 kg/ha d'une spécialité renfermant 310 g de M.A./l).

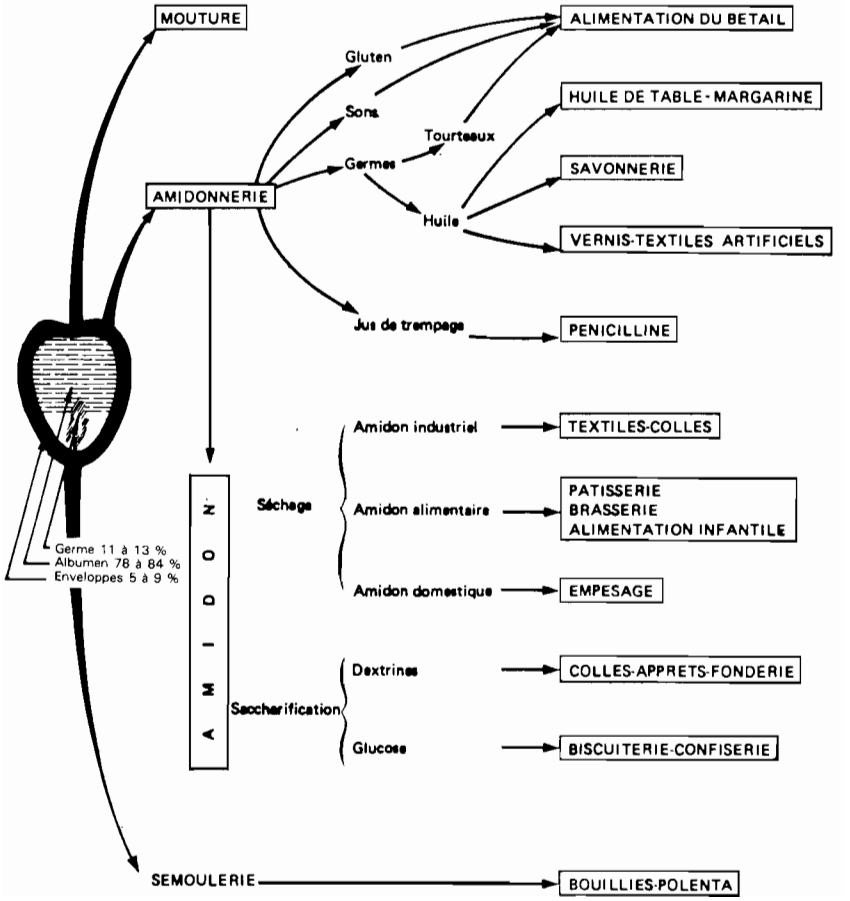
5.7. Les nématodes

Les nématodes du sol font parfois de gros dégâts mais l'utilisation des nématicides ne peut être rentable.

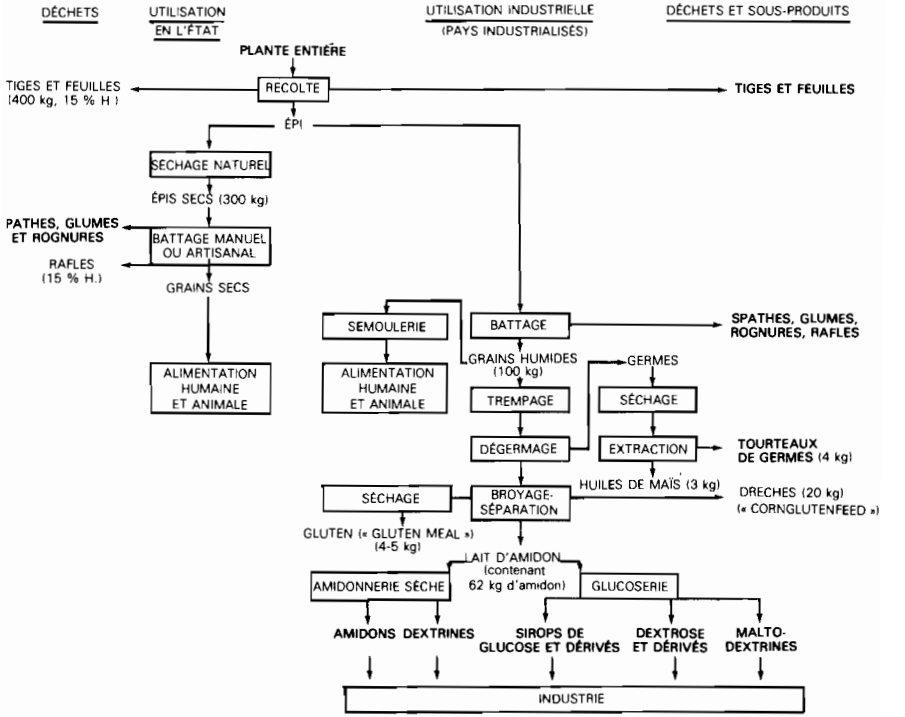
Effectuer une large rotation avec des cultures non sensibles.

6. TECHNOLOGIE

Les usagers industriels du maïs sont très nombreux. On peut les résumer dans le tableau suivant.



MAÏS
SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



H : Humidité (sur poids total)

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (en jt/ha) :

Préparation du sol fumure	20 - 30
Semis	3 - 5
Entretien	20 - 30
Récolte	15 - 25
	58 - 90
Transport (grenier)	16
Épanouillage	16
Égrenage	40
Vannage, nettoyage	4
Ensachage	4
Total Conditionnement	80

7.2. Production Maïs 1985

CONTINENTS	Surf. x 1 000 ha	Prod. x 1 000 t	Rend. kg/ha
Amérique du Nord et Centrale	41 909	250 453	5 976
Amérique du Sud	17 918	39 292	2 193
Asie	35 266	91 498	2 595
URSS F	5 162	15 000	2 906
Europe	11 564	61 747	5 340
Afrique	21 036	31 624	1 503
Océanie	131	541	4 130
Total mondial	132 986	490 155	3 686

Prod. rang	PAYS	Surf. x 1 000 ha	Prod. x 1 000 t	Rend. kg/ha
1	USA	30 406	225 180	7 406
2	Chine F	17 553	62 250	3 546
3	Brésil	11 802	22 017	1 866
4	Mexique	8 418	15 013	1 783
5	URSS F	5 162	15 000	2 906

F = estimation FAO.

7.3. Commerce 1985 Maïs (en milliers de tonnes)

Rang	EXPORTATION x 1 000 t		IMPORTATION x 1 000 t	
1	USA	53 188	URSS *	16 600
2	France	8 151	Japon	14 225
3	Argentine	7 600	Espagne	3 874
4	Chine	7 582	Rép. de Corée	3 406
5	Thaïlande	2 802	Égypte	1 907

* = données non officielles.

MANIOC

Euphorbiacée **Cassava**
Manihot utilissima **Mandioca, Yuca**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le manioc est cultivé pour ses racines tubérisées qui entrent pour une grande part dans l'alimentation quotidienne de nombreuses populations, surtout africaines. C'est une plante riche en amidon. Elle est consommée soit directement sous forme de « manioc vert », soit sous forme de farine. Dans l'industrie, le manioc sert à la préparation de l'amidon, de la fécule, du tapioca, de biscuits, de pâtes alimentaires, de colles, de glucoses, etc... Dans certains pays, on fabrique de l'alcool à partir des racines de manioc. Les feuilles peuvent se consommer sous forme de « brèdes ». Enfin, le manioc sert à l'alimentation animale soit en vert, soit en cossettes, rondelles, bouchons, farine, etc.

Pour la clarté de l'exposé, aucune codification internationale n'existant dans ce domaine, nous définissons les termes utilisés le plus généralement :

Manioc : Plante productrice appelée suivant les pays : Manioc, Cassava ou Tapioca.

Fécule : Amidon extrait du manioc (et d'autres plantes).

Tapioca : Amidon hydraté, cuit puis broyé.

Semoule : Déchet ou issue de la fabrication de la fécule ou du tapioca, séché et présenté sous forme de farine.

Rafine, et Foufou : Racine rouie, ou non, séchée et broyée finement.

Gari et Atiéké : Semoule obtenue après les opérations suivantes : pelage, râpage, fermentation, essorage et séchage.

Racine broyée : Racine rouie, déchiquetée et séchée.

Chips : Tranches ou morceaux de racines séchées. Englobe cossettes, rondelles, tranches et bouchons. La racine est soit entière, soit dépelliculée, soit pelée.

Pellets (granulés) : Comprimés boudinés confectionnés à partir de chips racine broyée ou farine. Certains fabricants y ajoutent un liant pour éviter leur désagrégation lors du transport et des manutentions.

Souvent le terme « racines » couvre commercialement les trois dernières catégories (excepté pour les pellets à base de farine) et le terme « farine » couvre fécule, semoule et farine.

2. BOTANIQUE

2.1. Description

Arbrisseau de 4 à 5 m dont la tige se ramifie par trichotomie. Racines tubéreuses et fasciculées, riches en amidon, se conservant longtemps en bon état dans le sol et constituant ainsi une bonne production de soudure.

Fleurs en grappe, avortant souvent : d'où multiplication par bouturage.

2.2. Origine

Le genre Manihot, originaire d'Amérique du Sud, comprend plusieurs espèces dont le *Manihot glaziovii* (céara), plante à caoutchouc, et surtout le *Manihot utilissima* (manioc) qui est la plante vivrière la plus importante de la zone tropicale humide par sa productivité et sa plasticité. Son aire s'étend même à la zone tropicale sèche car il est extrêmement rustique.

Les divers clones sélectionnés localement ou dans les stations de recherche se différencient par des caractères morphologiques : le port (étalé ou conique), la coloration des feuilles jeunes ou des pétioles des feuilles adultes, le groupement des feuilles (pétiolées ou sessiles) ; ou par des caractères techniques : résistance à la mosaïque, productivité, précocité et teneur en acide cyanhydrique :

Teneur en HCN de la pulpe fraîche en %

Variétés très douces	< 0,010
Variétés douces	0,010 à 0,012
Variétés amères	0,012 à 0,014
Variétés très amères	> 0,014

Après préparation, le manioc (cossettes, farine) dosant plus de 0,015 % de HCN par rapport à la matière sèche n'est pas accepté pour l'alimentation du bétail.

Dose létale : un mg d'HCN par kg de poids et par jour.

2.3. Variétés fréquemment utilisées

Les caractères permettant d'estimer la valeur d'une variété-clone de manioc

sont très nombreux. Les principaux critères retenus par le sélectionneur sont :
— la résistance aux maladies, notamment à la « mosaïque », aux « pourritures » et depuis peu de temps en Afrique à la bactériose ;
— le rendement en fécule totale ;
— le taux de reprise ;
— les qualités organoleptiques ;
— l'attache des racines (elles doivent être sessiles, groupées autour du collet, assez courtes, inclinées à 45°).

Parmi les principales variétés, on peut citer :

— **En Côte d'Ivoire**, des variétés locales (Kokozokro, Agba-Dougbé pour les maniocs doux...), dont le remplacement prochain par des variétés introduites résistantes à la mosaïque est à prévoir (comme TA 125, C.B.).

— **Dans le Sud du Togo et du Bénin,** des variétés locales, généralement à double fin, comme Kata-Oli et Goula, et une variété sélectionnée tolérante à la mosaïque : 312 - 524.

— **A Madagascar,** des variétés-clones hybrides :

	Consommation	Féculerie	Double fin
Tuléar	H 53	H 41	H 54
Fianarantsoa	H 45		H 54
Hauts Plateaux	H 45 - H 53		H 54
Diego Suarez			H 58 - H 57
Tamatave			H 58
Côte Nord-Ouest			H 58

Dans ce dernier pays, un travail continu de création variétale, est poursuivi ; parmi les clones nouveaux à l'étude, on peut citer : 55 234, qui a fourni un rendement moyen de 80 t/ha sur 3 campagnes au lac Alaotra, en parcelle d'essai. La poursuite de la sélection est rendue nécessaire en raison notamment du fait que le comportement des hybrides vis-à-vis de la mosaïque n'est constant ni dans l'espace ni dans le temps.

— **IBADAN** : 57 174 — 53 101 — 57 171 — 58 382 — 58 389 — 58 308 Isunikakiyan, Oyanrugba.

3. ÉCOLOGIE

Le manioc est une plante de zone tropicale humide à grande faculté d'adaptation tant pour le climat que pour le sol.

L'optimum de rendement est obtenu, sous 1 200 à 1 500 mm de pluies, à température moyenne 23 à 24°C, avec 2 à 3 mois de saison sèche. Dans ces conditions, tous les sols sont acceptés à l'exception des sols asphyxiants ; le sol idéal est sablo-argileux, profond, bien drainé, à pH 6.

Le cycle cultural est fonction des données climatiques : à Madagascar, par

exemple, le manioc ne peut être cultivé à une altitude supérieure à 1 400 m, du fait des basses températures ; dans ces conditions extrêmes, son cycle végétatif s'allonge (22 mois) et les rendements sont médiocres.

Sur de bons sols on peut le trouver jusqu'à 30° de latitude. Sous des climats à pluviométrie réduite, jusqu'à 500 mm en 4 mois, il ne s'agit plus de cultures à grand rendement mais de cultures maraîchères ou de culture de soudure.

4. CULTURE

4.1. Généralités

Le manioc capable de tirer parti des sols les plus divers est une plante de fin d'assolement placée juste avant la jachère (cela est surtout vrai pour les systèmes traditionnels de culture en raison de l'épuisement du sol, de la plasticité et de la rusticité du manioc et du fait qu'il n'est pas entretenu).

— Assolements de zone forestière :
- Arachides — Maïs — Courge + Manioc — Jachère.
- Maïs — Arachide — Banane + Manioc — Jachère.
- Riz + Manioc + Banane — Jachère.

— Assolement de savane à 2 saisons de pluies :
- Maïs — Arachide — Sésame + Manioc — Jachère.

— Assolement de zone tropicale :
- Coton — Arachide — Arachide — Sorgho + Manioc — Jachère.

— Assolements prévus en culture intensive mécanisée :
- Manioc — Manioc deux à trois ans de stylosanthes pâturé.

Traditionnellement le manioc est planté dans la 2e partie d'une saison des pluies, en mélange dans une culture en place (arachide, maïs, sésame), au cours d'un sarclage ou bien à la récolte.

L'association maïs-manioc peut fournir 35 q/ha de maïs et une récolte de manioc inférieure seulement de 6 t/ha à la production d'une culture pure, à condition de planter le manioc 40 jours après le semis du maïs (sud du Bénin et du Togo), à la densité de 10 000 à 15 000 pieds/ha.

La période optimale est difficile à préciser. Elle doit être choisie pour chaque situation particulière (optimisation du rendement, de la date de la récolte, de la teneur en fécule, etc.).

En général on choisit la fin de la petite saison sèche (climat à 2 cycles) ou le tout début de la saison des pluies (climat à 1 cycle).

Les boutures possèdent 4 à 6 yeux (10 à 40 cm).

Densité 10 000 à 12 000 (espacement 1 m x 1 m ou 0,80 x 1 m) Durée de la sortie : 7 à 14 jours.

La culture du manioc est aisément mécanisable, ce qui facilite les sarclages et le buttage, à exécuter au 3e mois.

4.2. Fumure

Fonction des exportations, donc de la production. Sur un hectare d'alluvions récentes à Madagascar une production de 40 t de racines a exporté :

	Racines	Bois	Total (en kg)
N	153	100	253
P_2O_5	38	25	63
K_2O	220	77	297
Ca	25	17	42
Mg	6	23	29

Les besoins du manioc sont surtout marqués en azote et en potasse, à apporter en début de cycle.

Dans le sud du Togo, les meilleures réponses à l'engrais sont obtenues avec une culture plantée pendant la grande saison des pluies ; la réaction vis-à-vis de la fumure est variable suivant les variétés (intérêt de Dazane-Foto).

L'apport de restitution devra être calculé en fonction du rendement des champs, en tenant compte de la récolte de racines et de 1/10 de la production de bois destinée au bouturage.

En pratique, un rendement de 30 t/ha sera obtenu avec les doses d'engrais suivantes :

100 kg durée soit : 44 kg d'azote
82 kg de supertriple soit : 37 kg d'acide phosphorique
157 kg de KCl soit : 94 kg de potasse,

la chaux étant apportée par l'amendement calcaire (3 t tous les 6 ans).

Cette fumure sera à appliquer lorsque le prix de vente du manioc payera l'augmentation de récolte procurée par l'utilisation des engrais chimiques.

En ce qui concerne la fumure organique, on admet que le manioc répond très positivement à tout apport de fumier.

Dose convenable: de 30 à 40 t/ha de fumier de ferme bien décomposé.

4.3. Plantation

La plantation sur labour à plat est de règle dans les sols normalement drainés ; le buttage n'est utilisé que dans les cultures sur sol épuisé, ou dans les sols trop humides.

4.4. Sarclage

D'habitude, deux à trois sarclages sont largement suffisants : le premier 3 à 4 semaines après plantation, le second 1 à 2 mois après, et le troisième au début de la seconde année de culture, après la reprise de la végétation adventice succédant à la reprise des pluies.

4.5. Récolte

— A 10-12 mois en zone équatoriale pour la consommation en légumes frais.
— A 18-20-24 mois pour la féculerie.

L'optimum de rendement en tonnage de racines et de fécule est obtenu avec des cycles de 12 à 20 mois, en moyenne 18 mois.

En Malaisie, la récolte effectuée 4 mois avant l'optimum accuse un manque à gagner de 30 % en racines et de 45 % en fécule ; 3 mois après, elle accuse une perte de 8 % en racines et de 20 % en fécule.

Des modes de récolte mécanisée ont été essayés et ont donné des résultats avec l'usage de charrues travaillant à 30 cm de profondeur, mais les expériences n'ont pas encore donné entière satisfaction.

Dans le sud du Togo, la meilleure période de récolte se situe en saison sèche, au moment où le poids des tubercules atteint un palier et où les teneurs en fécule sont les plus élevées. Une telle pratique permet aussi d'intensifier le système de production en autorisant la mise en place d'une nouvelle culture dès l'arrivée des pluies suivantes.

En résumé, les teneurs en fécule sont plus influencées par la saison que par l'âge de la plante ; elles sont élevées en saison sèche et basses en saison des pluies.

4.6. Rendements

Les rendements varient de 3 à 15 t/ha mais ils peuvent atteindre 60 t en terres fertiles.

En culture industrielle des rendements de 40 t sont normaux à Madagascar, 40 à 45 t en Indonésie, 25 à 65 t au Zaïre, 40 t en Centrafrique (Grimari) et 40 à 50 t au Brésil.

Le record mondial est de 150 t/ha.

Les rendements des différents produits obtenus à partir du manioc sont les suivants :

— Manioc sec : 35 à 55 % des racines fraîches.
— Racines pelées : 75 à 88 % des racines fraîches.
— Cossettes : 30 à 37 % des racines fraîches.
— Farine : 29 à 33 % des racines fraîches.
— Fécule : 20 à 25 % des racines fraîches.
— Gari : 5 kg de manioc à 22 % de fécule permettent d'obtenir 1 kg de gari.

5. ENNEMIS ET MALADIES

ENNEMIS ET MALADIES	PRÉVENTION ou traitement
Viroses: Mosaïque (sur feuilles) Brown streak (sur feuilles âgées et tiges) transmises par un Bemisia.	Variétés tolérantes, Thermothérapie.
Pourridiés (Armillaria et pourritures physiologiques en sols lourds) Die Back (Glomerella)	Rotation

Cochenilles	Lutte biologique à mettre au point.
Rats et rongeurs divers	Appâts empoisonnés.
Bactériose (grave en Amérique latine récemment signalée en Afrique).	Recherche de variétés tolérantes.

6. TECHNOLOGIE

Le « manioc vert » sert à préparer des rondelles, des bouchons, des cossettes, de la farine et du tapioca. Voyons successivement les diverses opérations nécessaires à la préparation de ces produits.

6.1. Préparation des rondelles et des bouchons

MANIOC VERT
- — lavage → racines propres.
- — décorticage → racines sans écorce.
- — découpage → rondelles ou bouchons frais.
- — séchage → rondelles ou bouchons secs.

RONDELLES OU BOUCHONS SECS

6.2. Préparation des cossettes et de la farine

MANIOC VERT
- — lavage → racines propres.
- — décorticage → racines sans écorce.
- — découpage → cossettes fraîches.

COSSETTES
- — séchage → cossettes sèches.
- — broyage → farine.

FARINE

6.3. Préparation du Chikwangue et du Foufou

Chikwangue :
- Pelage par rouissage
- Malaxage
- Mise en bâtons

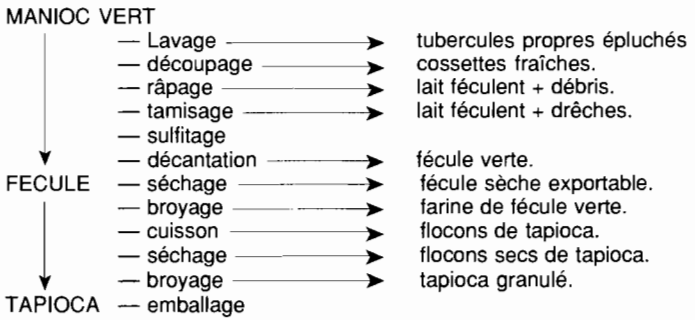
Foufou :
- Pelage par rouissage.
- Malaxage.
- Séchage.

6.4. Préparation du gari et de l'atiéké

Gari (farniha de mandioca au Brésil) :
- Pelage à la main
- Râpage
- Fermentation et essorage
- Séchage et cuisson sur plaques chauffées

Atiéké (Conac en Guyane) :
- Pelage à la main.
- Râpage.
- Fermentation et essorage.
- Séchage naturel.

6.5. Préparation de la fécule et du taploca



6.6. Résultats

—100 kg de racines fournissent 35 à 55 kg de manioc sec.
—100 kg de racines fournissent de 22 à 23 kg de fécule.
Rendement des différentes sortes d'usines :

— Usines familiales : 100-200 kg/jour de farine brute (énergie hydraulique) ;
— Usines moyennes (coopératives) :
  • Diesel 20 CV, 5 t/j (machine à râper seule).
  • Diesel 25 CV, 5 t/j (machine à râper + sassage).
— Grandes usines (industrielles) : fabrication de fécule 40 t/j.
  Taux d'extraction 27 %. Consommation par tonne de fécule : 116 kwh et 70 m^3 d'eau.

6.7. Valeur alimentaire du manioc.

	RACINES FRAÎCHES	COSSETTES	FARINE
Eau	61 %	14,8 %	13,7 %
Matières amylacées	33,6 %	74,3 %	78,9 %
Matières azotées	1,2 %	2,7 %	2,7 %
Matières grasses	0,4 %	1,5 %	0,5 %
Matières minérales	1,2 %	2,2 %	1,5 %
Cellulose	2,6 %	4,5 %	2,7 %

Le manioc est un aliment énergétique pauvre en protéines mais il constitue une réserve alimentaire disponible en cas de disette.

6.8. Détermination de la qualité

Qualité	Finesse	Couleur	Pureté au cristallisoir	Pulpe (2)	Viscosité g/ml d'eau (3)	Teneur en cendres	Teneur en eau
A	99 % à travers tamis (1) 140 US	Cf/étalon	Cf/étalon	0,5 ml au max.	11/150	0,15 %	12,5 %
B	99 % d°	Très rares mouchetures noires	Très rares poussières	2,5 ml au max.	17/150	0,25 %	12,5 %
C	99 % 60 US	Rares mouchetures noires	Rares poussières	12 ml	20/150	0,50 %	14,0 %
D	80 % 80 US						

(1) N° du tamis égal au nombre de mailles au pouce.
(2) Résidu laissé par 50 grammes d'échantillon lavé sur tamis 140 US.
(3) Viscosité analogue à celle du liquide obtenu par cuisson de 10 g d'échantillon A dans 150 ml d'eau distillée à 50° C.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (en jt/ha) :

Préparation du sol	50
Préparation des boutures	5
Plantation	8- 15
Entretien, buttage	5- 20
Récolte	20- 30
Total culture	98-120

7.2. Production Manioc 1985

CONTINENTS	Surface x 1 000 ha	Production x 1 000 t	Rendement kg/ha
Amérique du Nord et Centrale	161	889	5 522
Amérique du Sud	2 361	28 409	12 031
Asie	4 160	50 465	12 130
Afrique	7 491	56 527	7 546
Océanie	21	243	11 571
Total mondial	14 194	136 533	9 618

Prod. Rang	PAYS	Surface x 1 000 ha	Production x 1 000 t	Rendement kg/ha
1	Brésil	1 866	23 073	12 365
2	Thaïlande	1 229	20 044	16 309
3	Zaïre	2 150	15 500	7 209
4	Indonésie *	1 500	14 500	9 667
5	Nigeria F	1 200	13 000	10 833

F = Estimation FAO.

* Données non officielles.

MIL

Graminée — **Pearl millet**

Pennisetum typhoïdes — **Panizo nigro**

1. BUTS DE LA CULTURE

Appelé aussi mil à chandelle ou mil pénicillaire. Il s'agit d'une culture alimentaire de grande importance dans les zones soudano-sahéliennes et prédésertiques d'Afrique.

Plus appréciés que les sorghos pour l'alimentation humaine, les petits mils sont aussi parfois utilisés à la fabrication de bières familiales et quelquefois pour l'alimentation des animaux.

Leur valeur énergétique est voisine de celle du sorgho mais le rapport Ca/P est faible (1 kg de mil ou sorgho grain fournit environ 3 500 cal.).

2. BOTANIQUE

(Lire le chapitre « Graminées alimentaires » page 643).

Les travaux les plus récents (1) ont permis de séparer, en Afrique occidentale francophone, deux grands groupes de Pénicillaires qui se distinguent par différents caractères ou caractéristiques de leurs faux épis, notamment :

Caractères	GROUPE 1	GROUPE 2
	Mali, Mauritanie, Côte d'Ivoire, Burkina Faso	Niger,Sénégal
Nombre d'épillets fertiles par involucre	En général < 2	En général ≥ 2
Longueur du faux épi	En général < 50 cm	En général > 50 cm jusqu'à 200 cm
Longueur/largeur faux épi	En général < 18	En général > 18
Diamètre du rachis	En général < 7,5 mm	Le plus souvent > 7,5 mm
Ornementation des soies	Rarement scabre	Fréquemment scabre
Hauteur du grain	Le plus souvent > 3,8 mm	Le plus souvent < 3,8 mm
Aristation	Polyaristation	Monoaristation et polyaristation
Largeur du grain	En général > 2,3 mm	Très souvent < 2,3 mm
Hauteur/largeur grain	Le plus souvent < 1,6	Souvent > 1,6
Vitrosité du grain	Nulle, faible, jamais forte	Faible à forte
Mucron	Rare et peu marqué	Fréquent et souvent très marqué

De nombreuses associations (d'ordre 2, 3, 4) ont été mises en évidence entre différents caractères et plus particulièrement entre, d'une part, la longueur du

(1) Travaux de M. Bono,1972 (IRAT).

cycle végétatif et, d'autre part, la coloration de certaines parties du faux épi, la vitrosité et la largeur du grain.

Dans chacun de ces deux groupes il existe des cultivars hâtifs (60 à 90 jours) et tardifs (110 à 150 jours) ; chez certaines ethnies les premiers sont appelés Souna, Sounan et les seconds Sanio, Sanio Bâ, Saniori, Sanion. 1 000 grains pèsent 4 à 8 g.

Du fait du décalage dans le temps entre ses floraisons femelle et mâle (le mil est protogyne), le mil est à peu près complètement allogame « ce qui conduit à utiliser des méthodes de sélection inspirées de celles du maïs, plante qui a été très étudiée à cet égard. Les travaux d'amélioration visent à obtenir 3 grandes catégories de matériel végétal :

— des variétés locales améliorées ou épurées, dont la multiplication se fait sans précaution particulière, si ce n'est l'isolement de la parcelle. Parmi les variétés-populations de ce type ayant été vulgarisées, on peut citer PC 28 (Sénégal) et surtout P 3 Kolo qui est largement diffusé au Niger (Centre et Ouest). Ces variétés sont peu plastiques et sont décevantes lorsqu'elles sont transplantées dans une autre région ;
— des variétés synthétiques, obtenues à partir d'au moins 5 lignées autofécondées, et exploitables en génération avancée. Le Souna 2, synthétique précoce local obtenu au Sénégal par fusion de 8 familles, commence à être vulgarisé (20 % d'amélioration du rendement par rapport au PC 28) ; dans ce même pays et au Burkina Faso, des variétés synthétiques tardives sont en cours de création ;
— des variétés hybrides dont les semences doivent être renouvelées à chaque génération ; de tels hybrides sont diffusés en Inde.

Les principaux critères de sélection sont les suivants :

— raccourcissement de la paille (obtention d'un rapport paille/ grain de l'ordre de 2 contre, 3,5 à 5 avec les types traditionnels). (Création par l'IRAT d'Hybrides composites nains : P_{10}, P_{15}, P_{16} donnent des résultats intéressants en rendement/ha et en poids de grains par épi) ;
— réduction de la durée du cycle (60 à 65 jours) ;
— résistance aux maladies notamment à *Sclerospora graminicola* et au charbon ;
— maintien ou amélioration des qualités organoleptiques du grain.

3. ÉCOLOGIE

Les pénicillaires sont des graminées de zones chaudes ; pendant leur cycle végétatif, qui est court (60 à 90 jours, rarement 120), la température moyenne optima est de l'ordre de 28° C ; 200 mm de pluies suffisent parfois : l'optimum ne dépasse pas 400 à 700 mm, et plus de 1200 m/m entraînent des risques graves de charbon.

Les pénicillaires sont moins exigeantes pour la qualité du sol que les sorghos. Elles préfèrent des sols sablo-argileux bien drainés et d'autant plus riches que le cycle de la variété est plus court.

4. CULTURE

4.1. Techniques culturales

Très voisine de celle du sorgho, la culture du petit mil est effectuée souvent en association avec le niébé et parfois l'arachide. Dans l'assolement elle vient souvent derrière l'arachide.

Cependant, les petits mils ayant des graines très petites exigent un sol **particulièrement bien préparé** en surface.

— **Préparation du sol** : le labour ou le pseudo-labour (scarifiage croisé) a un effet favorable sur le rendement ; l'augmentation de production due au labour a été de 21 % pour une série de 22 essais réalisés dans l'Ouest africain.

— **Semis** : en sec, (graines traitées avec un produit renfermant 80 % de thirame et 20 % de Lindane à raison de 50 g pour 10 kg), ou dès les premières pluies ; 5 à 12 kg/ha à la volée ou 2 500 à 10 000 poquets/ha. Pour l'engrais vert ou le fourrage: 15 à 18 kg/ha.

Le semis en ligne facilite la rapidité d'exécution des sarclages grâce à la culture attelée. Cela est un facteur important d'augmentation des rendements.

— **Sarclages** : 2 à 3 dont le premier 10 à 15 jours après le semis.

Au premier on procède à un démariage à 3 plants par poquet.

4.2. Fumure

Le mil répond bien à la fumure minérale.

Lorsque dans la rotation il succède à une culture ayant reçu un engrais phosphaté, se contenter d'apporter N : 30 à 50 kg.

Si le mil ne peut bénéficier d'aucun reliquat phosphaté, apporter N : 30 à 50 kg ; P_2O_5 : 15 à 30 kg.

Les effets d'un apport de potasse sont peu marquants.

4.3. Récolte

Dès la maturité, assez échelonnée, on effectue la coupe des épis que l'on met à sécher au soleil 2 à 4 jours puis que l'on engrange en silos aérés. Les grains après dépiquage ont avantage à être stockés en atmosphère confinée.

4.4. Rendements

Très variables suivant la variété, la pluviométrie et la fumure.

En culture traditionnelle réussie, ils sont de 600 à 800 kg mais peuvent descendre à 300 kg et dépasser 1 500 kg.

5. MALADIES ET ENNEMIS

5.1. Maladies cryptogamiques

a) ***Sclerospora graminicola*** : cette maladie appelée aussi mildiou ou encore maladie de l'épi vert, a une grande importance dans plusieurs régions ; on distingue 2 types de symptômes :

— symptômes précoces : nanisme des plants atteints ; feuilles marquées de stries blanchâtres, se desséchant et se dilacérant.
— symptômes tardifs : dégénérescence des pièces florales, qui prennent l'aspect de feuilles, torsion de l'épi.
Des lignées résistantes ont été repérées (Burkina Faso).

b) ***Tolyposporium penicilliariæ*** : (charbon du grain) : des lignées résistantes ont été repérées (Sénégal).

c) **L'ergot ou maladie sucrée** (présence d'un exsudat sucré sur les fleurs).

5.2. Insectes

Les **cécidomyiides** (*Geromya penniseti*) pondent au moment de la floraison et provoquent l'avortement des grains. Les cultures à floraison précoce sont peu envahies par les premières générations. L'infestation croît, passe par un maximum puis diminue brusquement du fait de l'apparition des parasites naturels des cécidomyiides. Les dégâts peuvent être très importants mais n'interviennent que sur les chandelles fleurissant pendant une courte période du mois de septembre.

Les **borers** sont souvent abondants mais n'ont en général que peu d'effets économiques en raison de l'exubérance du développement végétatif et de la tolérance variétale. Au Sénégal, les conséquences les plus graves sur la production sont surtout observées sur les mils précoces (Souna) semés tardivement.

Dans cette région, les principales espèces observées sont :
— *Acigona ignefusalis* ;
— *Eldana saccharina* ;
— *Manga basilinea* ;
— *Sesamia spp.*

La **mouche de la tige** (*Atherigona*) détruit les jeunes plantes, surtout en cas de semis tardif.

Les principaux **insectes des stocks** sont :
Trogoderma granarium ;
Tribolium ;
Rhizopertha dominica ;
Oryzaephilus surinamensis.

5.3. Les mauvaises herbes

Striga hermonthica constitue un danger redoutable pour le mil. Son arrachage n'est pas réalisable de façon efficace en cas d'infestation grave. La lutte chimique est à l'étude : une solution satisfaisante consisterait en un traitement qui détruirait le Striga le plus tôt possible après sa germination.

5.4. Les autres ennemis du mil

Les oiseaux comme quelea quelea ou mange mil, le moineau doré, le gendarme, etc.

Les criquets.

5.5. Conclusion sur la protection phytosanitaire du mil

Dans l'état actuel de nos connaissances, les seuls traitements ayant un intérêt économique sont la désinfection des semences et la protection des greniers.

6. DONNÉES STATISTIQUES

6.1. Temps de travaux (jt/ha)

Nigeria du Nord (culture manuelle : 623 kg/ha) ;

• Préparation du sol	15
• Plantation	8
• Entretien	40
• Récolte	20
TOTAL	83

6.2. Production Mil 1985

CONTINENTS	Surface x 1 000 ha	Production x 1 000 t.	Rendement kg/ha
Asie	22 695	17 541	773
Afrique	16 968	11 615	685
URSS	2 788	2 200	789
Amérique du Sud	123	140	1 138
Océanie	32	33	1 031
Europe	15	30	2 000
Total mondial	42 621	31 559	740

Prod. Rang	PAYS	Surface x 1 000 ha	Production x 1 000 t	Rendement kg/ha
1	Inde F	17 500	10 000	571
2	Chine F	3 702	6 302	1 702
3	Nigeria F	5 100	3 600	706
4	URSS F	2 788	2 200	789
5	Niger	3 160	1 450	459

F : Estimation FAO.

PATATE DOUCE

Convolvulacée — **Sweet Potato**
Ipomea batatas — **Batata, Boniato**

1. BUTS DE LA CULTURE

La patate douce est cultivée pour ses tubercules qui servent d'aliment pour l'homme. On peut les préparer de très nombreuses façons : bouillis, frits, cuits sous la cendre.

Les tubercules servent également à préparer de la fécule, du sirop, de l'alcool, de la confiture, etc.

Certaines variétés sont très riches en amidon, et après cuisson, servent à l'alimentation du bétail.

Les feuilles peuvent se consommer sous forme de brèdes ou sous forme de condiment.

Les tiges et les feuilles ont un grand intérêt pour les animaux comme fourrage vert ou comme fourrage sec.

2. BOTANIQUE

Le genre *Ipomea* est probablement originaire d'Amérique où l'on trouve une quinzaine d'espèces voisines.

2.1. Description

« La patate douce est une plante vivace, mais annuelle en culture. C'est une plante herbacée à tiges généralement rampantes, dont l'extrémité seule est dressée. Les feuilles sont très polymorphes selon les variétés. Les fleurs campanulées, rarement fertiles, violettes ou blanches, sont groupées en ombelles axillaires. Le fruit est une capsule indéhiscente contenant 1 - 2 graines. Les tubercules, qui constituent la principale partie comestible de la plante, sont pauvres en protides, mais contiennent des glucides leur conférant une saveur sucrée. Ils ont un goût intermédiaire entre la pomme de terre et la châtaigne. Ils se forment à l'endroit où les racines, après s'être dirigées horizontalement, s'incurvent vers le bas. Leur nombre et leurs dimensions, de même que la couleur de la peau et de la chair sont variables. Leur poids varie entre 0,5 et 3 kilogrammes. » (1).

2.2. Variétés

La multiplication de la patate douce est essentiellement clonale. La sélection est différente suivant qu'il s'agit de tubercules pour l'alimentation humaine (goût, précocité, teneur en vitamines, variétés à chair ferme ou à chair tendre après

(1) Van Den Abeele et Vandenput, op. cit. p. 113.

cuisson) ou de tubercules pour l'alimentation animale (rendement, faculté de conservation, teneur en fécule).

D'une manière générale on distingue les variétés à tubercules blancs, jaunes ou rouges.

— Sélections américaines de variétés à chair tendre : Porto-Rico, Nancy hall, Nancy gold, Triumph, Australian, Cannes.
— Sélections américaines de variétés à chair ferme : Big stem Teney, Yellow Jersey, Maryland Golden, Orlis.

3. ÉCOLOGIE

La patate douce est une plante extrêmement plastique en ce qui concerne les conditions écologiques : elle est cultivée aussi bien sous les climats tempérés à étés chauds que sous les climats tropicaux et équatoriaux.

Les besoins en eau sont élevés surtout en début de croissance : 600 mm par cycle de 120 à 210 jours.

Les nuits chaudes et l'ensoleillement sont favorables à la croissance.

Température moyenne en période culturale : 22 à 30° C.

Température du sol : 15 à 18° C.

Les sols doivent être légers, sans excès d'eau, sans excès d'azote.

4. CULTURE

Cette culture offre l'avantage de pouvoir être entièrement mécanisée (consulter à ce sujet les ouvrages notés dans la bibliographie). Elle protège le sol, améliore sa structure et le nettoie.

4.1. Plantation

— La mise en place se fait par bouturage de fragments de tige de 20 à 40 cm portant 3 à 4 bourgeons (dans les pays tempérés on prépare des pépinières en couche chaude à partir de tubercules).

On compte 30 000 boutures/hectare espacées de 30 cm sur des billons distants de 60 à 90 cm.

Les boutures doivent être prélevées sur des plants sains (exempts de viroses) ; il est conseillé de les désinfecter, par trempage de quelques minutes dans une solution (par ex : manèbe à 100 g m.a. pour 40 l d'eau + Trichlorfon à 100 g m.a. pour 40 l d'eau).

Les feuilles sont supprimées sur 2 nœuds (partie à enterrer) ; les feuilles supérieures seront habillées environ à la moitié du limbe ; les boutures seront disposées obliquement. Par emplacement on peut mettre 1 à 3 boutures ; avec 3 boutures, le sol est couvert plus rapidement et on n'a pas à faire de remplacement.

L'entretien se limite à 2 ou 3 sarclages en début de végétation.

Pour l'entretien chimique, on peut employer le Paraquat, pendant les premières semaines suivant la plantation (600 g m.a./ha dans 800 à 1 000 l d'eau).

L'irrigation est obligatoire lorsque l'humidité du sol descend au-dessous de la capacité utile.

4.2. Fumure

Une récolte de 15 t/ha exporte environ 70 kg d'azote, 20 kg de P_2O_5 et 110 kg de K_2O.

Aux États-Unis on a obtenu des réponses très variées aux apports de potasse. Au-delà de certains niveaux d'apports potassiques on constate une déficience en Mg.

Quelques exemples de formules recommandées :

— MARTINIQUE : N = 40 kg/ha
P_2O_5 = 40 kg/ha
K_2O = 120 kg/ha

— RÉUNION : N = 80 kg/ha
P_2O_5 = 150 kg/ha
K_2O = 160 kg/ha

4.3. Récolte et rendements

Pour une bonne conservation des tubercules, la récolte doit être effectuée avec précaution.

Elle doit se faire au moment où les tiges et les feuilles commencent à jaunir. Suivant les variétés, ce stade se produit entre 6 à 8 mois après la plantation.

Contrairement au cas de l'igname, la patate ne doit pas rester dans le sol après sa maturité (risque de pourriture ou de germination).

En fait, en altitude, sous climat frais, et avec une bonne alimentation en eau, la récolte peut être étalée et le cycle atteindre un an (La Réunion en altitude).

Les rendements, en culture traditionnelle, sont de l'ordre de 3 à 10 t/ha.

Ils peuvent atteindre 50 t/ha avec une fumure convenable.

5. MALADIES ET ENNEMIS

CAUSE	EFFET	PRÉVENTION OU REMÈDE
Nématodes	Crevasses des tubercules	Emploi de variétés indemnes
Virus	Vein clearing au Ghana Mosaïque	Utilisation de plants indemnes. Lutte contre les insectes piqueurs.
Virus	Yellow Dwarf aux U.S.A. Leaf spot virus U.S.A. Internat. cork virus U.S.A.	Respect de la réglementation internationale
Fusarium	Pourriture noire des tubercules	Désinfection des tubercules

Charançon (Cylas)	Galeries dans les tubercules ou les tiges	Pulvérisations d'insecticides
Chenilles de lepidoptères	Destruction du feuillage	

6. TECHNOLOGIE

On ne traite pas les patates douces industriellement.

Les conditions de conservation doivent être soigneusement étudiées, surtout après une récolte mécanique. Un traitement pendant 6 à 8 jours à la chaleur humide (50 % d'humidité, 28° C) en facilitant la cicatrisation des blessures diminue les risques.

Après cela les conditions optima de stockage sont : hygrométrie de 80 % et température de 14° C.

Valeur alimentaire : COMPOSITION

Eau	57 à 78 %
Cellulose	0,9 à 1,2 %
Amidon	13 à 33 %
Saccharose	2,6 à 6 %
Sucres réducteurs	0,3 à 0,8 %
Protéines	0,8 à 2,2 %
Cendres	1,1 à 2,8 %
Carotène	1,3 à 11 mg pour 100 g
Acide ascorbique	23 à 43 mg pour 100 g

* Remarque : La teneur en protéines augmenterait avec l'altitude.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (culture pluviale) en j/homme/ha :

• Préparation du sol	20-30
• Plantation	6-10
• Entretien	15
• Travaux postculturaux	
• Récolte	30-40
Total	71-95

POMME DE TERRE

Solanacée — **Potato**
Solanum tuberosum — **Patata, Papa**

1. BUTS DE LA CULTURE

On cultive la pomme de terre pour son tubercule qui entre, pour une grosse part, dans l'alimentation de nombreuses populations, sous forme de purées, de frites, de compotes, salades, etc. De plus en plus la pomme de terre subit des transformations industrielles pour être vendue sous forme de chips et purée déshydratée, pour l'extraction de sa fécule ainsi que pour la fabrication d'alcool.

Les tubercules, en particulier ceux de trop petite taille pour être commercialisés sont donnés après cuisson aux animaux : ovins, chevaux, bovins, mais surtout porcins. Ils sont distribués également dans les rations soit sous forme d'ensilage, soit sous forme de produit déshydraté.

Sa consommation augmente très rapidement dans les pays d'Afrique tropicale.

2. BOTANIQUE

Originaire d'Amérique, la pomme de terre s'est développée en Europe d'où elle a été introduite en Afrique. Elle y donne de bons résultats dans les régions méditerranéennes (en irriguée) ainsi que dans les zones montagneuses tropicales ; elle est traitée en culture maraîchère dans certaines zones tropicales favorables (Cap Vert).

La pomme de terre se reproduit par des tubercules souterrains. Les graines sont rares. Elle réagit à la photopériode, Les diverses variétés se distinguent par la couleur de la chair, la forme des tubercules, leur dormance plus ou moins grande et leur aptitude à la conservation. Le cycle végétatif, variable avec les variétés, est en moyenne de 90 à 110 jours.

Variétés utilisées : Ker Pondy, Fin de Siècle, Claudia, Hyva, Régale.

Variétés résistantes à la sécheresse : Arran Banner, Ackersegen.

Variétés résistantes au Mildiou comme : Spartair.

3. ÉCOLOGIE

3.1. Température

C'est une plante très rustique qui résiste relativement bien au froid (gèle à 2°C) et à la chaleur. L'excès de température ne la gêne que s'il s'accompagne de sécheresse. Optimum: 15 à 25°C.

3.2. Pluviométrie

La pomme de terre demande de l'eau à toutes les époques de sa végétation,

surtout durant la phase de tubérisation. Il lui faut des pluies régulières, bien réparties, sans périodes de sécheresse. Un excès d'eau en fin de phase de grossissement donne des tubercules qui pourrissent facilement tandis qu'un manque d'eau fait mûrir prématurément ces tubercules. Le régime des pluies influe beaucoup sur le rendement et la qualité. Ses besoins en eau sont de l'ordre de 500 à 600 mm.

3.3. Éclairement

La formation de fécule est directement influencée par la luminosité. L'ombrage est donc à proscrire absolument.

3.4. Sols

La pomme de terre demande des terres profondes, saines toujours fraîches, riches et bien drainées. Elle pousse bien en sols sableux, francs ou humifères. Elle préfère les terres à pH peu acide : de 6 à 6,5. (Une trop forte acidité favorise le développement des gales.)

4. CULTURE

Elle peut être mécanisée totalement ou partiellement.

Après une préparation soignée (labour profond et émottage) la plantation est effectuée en sillons à la densité de 30 à 40 000 pieds/ha. Il faut 1 t à 1,5 tonne/ha de plants, suivant leur taille. On utilise parfois des fragments du tubercule surtout au 2e cycle. Cette technique permet une économie de transport pour la plantation et surtout accélère la germination de plants qui n'ont pas eu suffisamment de repos végétatif entre récolte et plantation. On peut ainsi, en zone équatoriale, conserver une variété d'une année sur l'autre, grâce à deux cultures annuelles. Il faut cependant se méfier du risque de pourriture dans le sol des tubercules fractionnés si la partie coupée n'a pas été cautérisée (cendre de bois). En culture désaisonnée, la densité peut être portée à 66 000 (50 x 30). En saison sèche la plantation s'effectuera sur billons.

4.1. Fumure

La fumure est très importante pour obtenir une bonne production de gros tubercules. Compte tenu du prix de vente de ceux-ci les engrais sont toujours payants.

Épandre :

1 — Avant plantation :	N	= 25 kg/ha
	P_2O_5	= 100 kg/ha
	K_2O	= 100 kg/ha
2 — Au premier buttage :	N	= 75 kg/ha
	K_2O	= 50 kg/ha

4.2. Entretien

2 binages-buttages destinés à détruire les adventices et protéger les tubercules de l'action de la lumière et de la contamination par le mildiou.

4.3. Traitements

Très importants durant la saison des pluies et en station d'altitude à forte hygrométrie de l'air. Tous les 6-8 jours, dès la levée, utiliser une bouillie cuprique toute préparée ou un produit à base de manèbe.

4.4. Récolte

Lorsque les feuilles jaunissent. Ne pas laisser la terre se dessécher ce qui obligerait à réhumidifier le sol pour récolter et entraînerait une pourriture des tubercules.

4.5. Conservation

En couches minces à l'abri de la lumière, dans un endroit sec et aéré après avoir retiré les tubercules détériorés ou portant des traces de maladie. Passer régulièrement pour retirer ceux atteints de pourriture.

4.6. Rendements

Ils varient de 5 à 11 t/ha (20 à 25 t/ha en zones d'altitude).

5. ENNEMIS ET MALADIES

La réussite de la culture est d'abord conditionnée par l'utilisation de plants sains ne présentant pas un degré caractérisé de contamination par les viroses et d'infestation par les maladies bactériennes et cryptogamiques.

Viroses diverses.	Production contrôlée de plants sains. Utilisation de variétés tolérantes.
Bactérioses : *Pseudomonas solanacearum*. Pourritures aux champs.	Variétés résistantes en cours de sélection.
Pourritures en stock : bactéries et champignons.	Ventilation : Température basse 10° C. Lutte contre le mildiou.
Germination en stock.	Poudrages hormonaux.
Phytophthora infestans: mildiou.	Pulvérisations cupriques ou organocupriques répétées tous les 8-15 jours.
Nématodes : *Méloidogyne javanica*.	Assolement, fumure phosphatée. Désinfection des semenceaux au formol 5 % ou au bichlorure de Hg 1 %.
Hétéronychus : ronge le collet.	Traitement du sol à l'aldrine 750 à 2500 g MA/ha.

6. TECHNOLOGIE

Elle n'intéresse que la fabrication de fécule. La suite des opérations est la suivante.

Tubercules de pommes de terre :

— Lavage et épierrage	
— Pesée	
— Râpage →	Bouillie de tubercules.
— Tamisage →	Lait de fécule + pulpe.
— Séparation de la fécule →	Fécule + eau.
— Séchage de la fécule →	Fécule sèche.
— Broyage de la fécule →	Petits morceaux de fécule.
— Blutage de la fécule →	Fécule très fine.

Fécule de pomme de terre.

1 tonne de pommes de terre donne environ 150 kg de fécule et 20 à 30 kg de pulpes sèches.

La fécule sert à la fabrication des sauces, des farines alimentaires pour enfants et pour veaux, des colles, etc. La pulpe sèche est un excellent aliment pour le bétail.

VALEUR ALIMENTAIRE DE LA POMME DE TERRE

eau	75 %
amidon	21 %
matière azotée	2,1 %
matière minérale	1,0 %
cellulose	0,7 %
matière grasse	0,2 %

RIZ

Graminée — **Rice**
Oryza sativa — **Arroz**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le riz est la céréale la plus importante du monde. C'est la nourriture de base d'une grande partie de l'humanité.

A part son emploi dans l'alimentation, qui est de loin le plus important, le riz sert à fabriquer de l'alcool, de l'amidon, du glucose, de l'acide acétique et du vinaigre, de l'acétone, de l'huile, des produits pharmaceutiques, des aliments vitaminés, etc.

Les balles de riz servent de combustible et leurs cendres d'engrais.

Les animaux peuvent consommer le paddy, les brisures, la farine et la paille

(cette dernière pouvant également servir de litière ou de matière première dans la fabrication de pâte à papier).

2. BOTANIQUE

2.1. Origine et espèces

Il existe *deux espèces principales* de riz cultivées:

— *Oryza glaberrima*, originaire d'Afrique, reconnaissable à sa ligule courte et tronquée, encore présente dans de nombreux types de riziculture en Afrique (dont les riz flottants de l'ancien delta du Niger), mais fortement concurrencée par la suivante.

— *Oryza sativa*, originaire de l'Inde et de la Chine, dont la culture a gagné très rapidement l'Asie, puis la Grèce et Rome, plus tard Madagascar, l'Afrique et enfin l'Amérique.

• *Oryza longistaminata* et *Oryza breviligulata* sont deux espèces sauvages fréquentes en Afrique ; la première est pérenne et à rhizomes, la seconde est annuelle.

Les riz comprennent d'innombrables variétés ayant donné lieu à de nombreuses classifications basées sur des caractères morphologiques et physiologiques, sur le comportement en croisement (fertilité des hybrides), sur les marqueurs génétiques (isozymes). Les principaux groupes génétiques reconnus dans cette espèce sont les groupes :

— *indica*, variétés de culture aquatique tropicale, à tallage fort, à feuilles fines, à grain le plus souvent mince (rapport longueur sur largeur supérieur à 3) ; une variante : les riz indica demi-nains pour la riziculture irriguée intensive en zone tropicale ;

— *japonica*, avec deux principaux sous-groupes morphologiques :
  • japonica tempéré, variétés de culture irriguée dans le nord de la Chine, en Corée, au Japon, dans le bassin méditerranéen ; tallage moyen, feuilles fines, grain le plus souvent court et arrondi.
  • japonica tropical, variétés de culture pluviale (dont des variétés modernes), mais aussi variétés bulu d'Indonésie (type connu sous le nom javanica) et variétés des USA ; tallage faible, feuilles larges, grain en général long et large.

2.2. Caractères et variétés

Le riz est une plante annuelle dotée d'un abondant système radiculaire de surface. La faculté de tallage (3 à 6 talles productives et souvent beaucoup plus) est surtout marquée en début de croissance. Elle se réduit ensuite. La tige se termine par une panicule ramifiée de 20 à 40 cm. Les fleurs, le plus souvent par autofécondation, donnent un caryopse enveloppé de deux glumelles adhérentes (l'ensemble est appelé paddy).

Suivant les variétés, la glumelle inférieure est plus ou moins aristée et barbue. Le péricarpe peut être diversement coloré (rouge, brun, gris, violet). L'albumen a une texture variable : translucide avec tache blanche centrale (ventre blanc, riz amidonneux), ou blanc mat (riz gluants où l'amidon est composé uniquement de dextrines). La dormance est variable avec les variétés.

La hauteur de la paille varie aussi, elle peut atteindre jusqu'à 5 m pour les riz flottants.

Au-dessus de 1 m les riz sont dits à grande paille (sensibilité à la verse).

Souvent on classe les variétés de riz en riz précoces : jusqu'à 120 j de cycle végétatif ; riz de saison : aux environs de 160 j ; et riz tardifs : au-delà de 170-180 j.

De nombreuses variétés sont sensibles au photopériodisme. C'est le cas notamment d'un grand nombre de variétés de type indica. Les variétés photopériodiques sont des variétés de « jours courts » ; leur cycle s'allonge à mesure que la durée du jour augmente. Il en résulte qu'une variété donnée, cultivée sous des latitudes différentes, aura un cycle différent. En outre, dans une zone donnée, la date de semis modifie la durée du cycle, en l'augmentant si le semis est précoce, en la diminuant si le semis est tardif.

On admet conventionnellement qu'une variété dont le cycle augmente de moins de 30 jours, lorsqu'on passe d'une durée de jour de 10 h à 14 h est insensible au photopériodisme.

QUELQUES VARIÉTÉS COURANTES

Variétés	Origine	Cycle (j)	Zone de culture
		Riz pluvial	
Dourado	Brésil	100	Afrique de l'Ouest
Iguape cateto	Brésil	135	Afrique de l'Ouest
Moroberekan	Côte d'Ivoire	150	Côte d'Ivoire
OS. 6	Zaïre	135	Afrique centrale
		Riz irrigué	
Makalioka 34	Madagascar	170	Madagascar
Chianan 8	Formose	120	Madagascar
IR. 5	Philippines	145	Afrique
		Riz inondé	
C 74	Philippines	140	Mali-Burkina Faso
IM 16	Guinée	160	Guinée-Côte d'Ivoire
Gambiaka	Gambie	150	Afrique de l'Ouest
Fossa	Burkina Faso	150	Afrique de l'Ouest
		Riz flottant	
Mali sawn	Mali	190	Mali

QUELQUES VARIÉTÉS COURANTES

Variétés	Cycle moyen jrs	Zone d'utilisation
	Riz pluvial	
63-83	115	Zone soudano-guinéenne d'Afrique occidentale
I - Kong - pao	115	—
Possa	150	—
1345	110	Côte Ouest de Madagascar - Comores
OS, 6	130	Centre Côte d'Ivoire - Centrafrique - Zaïre
Morobérékan	145	Nord et Ouest Côte d'Ivoire
Bentoumbala	180	—
	Riz aquatique	
Sintane diofor	110	Zone soudanienne d'Afrique occidentale
D: 52 - 37	150	—
C - 74	140	—
Gambiaka	160	—
HKG 98	160	Mali
Makalioka 34	170	Madagascar
Ali Combo	160	—
1632	120	—
Sigadis	150	—
	Riz flottant	
Mali Sawn	190	Mali
	Riz semi-nain	
IR 8	125	
IR 20	120	Zone tropicale basse altitude
TNI		

OBTENTIONS NOUVELLES

Des cultivars nouveaux ont été créés par hybridation ou mutagenèse dans le but d'améliorer certaines caractéristiques de la plante afin, notamment, d'augmenter la stabilité de son rendement (résistance aux maladies, à la sécheresse...), de faciliter sa culture et récolte (résistance à la verse, à l'égrenage)... Les caractéristiques du grain ont été également améliorées afin de satisfaire le consommateur et l'usinier (taille du grain, translucidité...).

Ces variétés nouvelles ont été créées et évaluées sur des bases géographiques élargies et présentent ainsi de bonnes conditions de fiabilité.

QUELQUES VARIÉTÉS NOUVELLES

Variétés	Origine	Cycle (j)	Zone de culture
Riz pluvial			
IRAT 144	Burkina Faso	105	Afrique de l'Ouest et centrale
IRAT 112	Côte d'Ivoire	100	Afrique de l'Ouest
IRAT 216 (IDSA 6)	Côte d'Ivoire	125	Afrique - Asie - Amérique du Sud
IRAT 104	Côte d'Ivoire	135	Afrique de l'Ouest
IRAT 170	Côte d'Ivoire	135	Afrique de l'Ouest
ITA 235	Nigeria	140	Afrique de l'Ouest
Riz irrigué			
BG 90-2	Sri Lanka	130	Afrique - Asie
ITA 212	Nigeria	135	Afrique
ITA 222	Nigeria	135	Afrique
IR 36	Philippines	110	Afrique - Asie
Riz de Mangrove			
Rok 5	Sierra Leone	135	Afrique de l'Ouest
Riz flottant			
Khao Gaew	Laos	180	Mali - Guinée

3. ÉCOLOGIE

3.1. Climat

a) **Besoins en eau :** ils sont élevés.

- En culture sèche, il faut de 160 à 300 mm par mois pendant la période végétative, soit de 1 000 à 1 800 mm pour la totalité de celle-ci, les besoins croissant avec l'âge des plants.
- En culture irriguée, il faut disposer d'assez d'eau pour que le sol puisse être submergé jusqu'à la maturation. Ces besoins sont très variables, l'ordre de grandeur est de 12 000 à 20 000 m^3/ha/an.

Les fortes pluies sont nuisibles à l'épiaison et en période de moisson.

Noter la corrélation existant entre pluies et nature du sol. Sur sols limoneux ou argilo-limoneux on peut cultiver le riz avec seulement 800 à 1 000 mm.

b) **Hygrométrie :**

Une certaine sécheresse atmosphérique est favorable au riz irrigué.

La floraison exige 70 à 80 % d'hygrométrie.

Le vent a une action favorable (accélération de la transpiration) s'il est léger. Les vents forts peuvent entraîner des dégâts sur repiquages et provoquer la verse à maturité ; forts et secs à la maturation, ils provoquent l'échaudage.

c) **Température :**

- A la germination : minimum 14-16° C, optimum 30-35° C, maximum 42° C, létale 50° C
- Au tallage : 16-18° C minimum.
  Optimum : 28-30° C.
- A la floraison 22° C.
  Optimum : 27-29°C.
- A la maturation : optimum : 25° C.
  La température optimale durant le cycle se situe vers 28-30° C.

Une température supérieure à 40° C est nuisible.

La température de l'eau optimale est de 30 à 34° C, le minimum se situant vers 13-14° C, le maximum vers 38-40° C ; à 50° C la plante meurt.

d) **Lumière :**

Le riz est une plante de lumière qui exige une bonne insolation.

Ceci explique pourquoi en zone équatoriale les rendements restent souvent faibles. L'intensité de la radiation solaire se mesure en calories/cm²/jour. L'optimum est atteint pour des moyennes de l'ordre de 500 calories/cm²/jour. Les rendements sont directement proportionnels à ce facteur. Le photopériodisme a une forte influence sur la durée du cycle et le rendement, surtout chez les types indica ; les types japonica sont moins sensibles et acceptent des jours de 14 à 15 h.

e) **Latitude limite :**

- Au nord : 46° sauf exception (32° en Russie).
- Au sud : 35°(Australie, Amérique du Sud).

f) **Altitude :**

Très variable : 2 000 m sous l'équateur, 1 800 m à Madagascar. Elle agit par l'intermédiaire de la température.

3.2. Sols

Le riz est assez plastique en ce qui concerne les sols. Il préfère cependant les sols à texture fine contenant 40 % d'argile, perméables sans trop, de pH compris entre 5 et 8, l'optimum se situant entre 6 et 7, les éléments grossiers sont défavorables.

En culture sèche, comme les autres céréales, il demande un sol riche, meuble, limoneux à limono-argileux ; il supporte cependant mieux que les autres céréales un excès d'humidité et moins bien un excès de sécheresse.

En culture aquatique, pour des raisons économiques (pertes en eau de percolation), on préfèrera des sols plus argileux (50 %).Conviennent particulièrement les sols alluvionnaires ou colluvionnaires (entre autres les deltas),

les argiles noires tropicales, les sols ferralitiques, les sols organiques à engorgement temporaire (bras morts des fleuves).

Une salure de 1 % est un maximum ; la présence de sulfures, ou sulfates est très défavorable (évolution des sols de mangrove).

Il est à noter que les jeunes rizières voient leur qualité augmenter au fil des années si les soins nécessaires sont donnés à leur sol celui-ci se « faisant » peu à peu.

Une récolte de 100 kg de paddy exporte, suivant que la paille est ou non restituée:

— 1,09 à 1,97 kg d'N ;
— 0,60 à 1,00 de P_2O_5 ;
— 0,28 à 1,25 de K_2O ;
— 0,05 à 0,83 kg de CaO ;
— 0,17 à 0,31 kg de MgO

4. CULTURE

On peut distinguer trois types principaux de riziculture en fonction de l'alimentation hydrique :

— **Riziculture pluviale** (Upland Rice) : la culture est alimentée en eau par les pluies, parfois aussi, en plus, par la nappe phréatique ;
— **Riziculture inondée** (Rainfed Lowland Rice) : le riz est cultivé dans une zone basse inondée pendant une partie du cycle cultural, de façon aléatoire ; la riziculture flottante est un cas particulier où la hauteur de la lame d'eau peut aller jusqu'à 4 cm ;
— **Riziculture irriguée** (Irrigated Rice) : implique une maîtrise complète de l'eau (irrigation et drainage) ; la riziculture de mangrove est un cas particulier.

On donne aussi parfois aux rizicultures pluviale et flottante les dénominations de « dressée » et « aquatique ».

4.1. Culture pluviale

4.1.1. GÉNÉRALITÉS

La riziculture pluviale est pratiquée :

— sur terres fortement en pente des collines (riz de montagne) ; cette culture itinérante est facteur d'érosion et n'est pas mécanisable ;
— sur terres de plateau ou à faible pente (riz de plateau) ; cette culture aussi est traditionnellement itinérante mais la culture en intercalaire de jeunes plantations pérennes (café, hévea..) et la culture fixée en rotation et/ou association avec d'autres espèces annuelles (maïs, coton, soja...) se développent actuellement ;
— sur terres de bas de pente, avec assistance de la nappe phréatique ; comme dans les autres cas, la monoculture du riz est à éviter.

Des systèmes de culture intensifs incluant le riz fluvial dans la rotation ont été mis au point dans de nombreux pays d'Afrique et d'autres continents.

4.1.2. TECHNIQUES CULTURALES

a) **Labour**

Les propriétés physiques du sol jouent un rôle essentiel en riziculture pluviale. Le labour a un effet positif sur le rendement et surtout contre l'enherbement. Grâce aux façons culturales profondes, l'aire d'extension du riz pluvial comprend des régions tropicales relativement sèches (900 à 1 000 mm de pluies annuelles):

— au Sénégal (sud du Sine-Saloum, Sénégal oriental).
— au Nord Cameroun.

b) **Semis**

Le semis est réalisé au début des pluies. Il s'agit de faire coïncider très exactement le cycle végétatif avec la saison pluvieuse. Les quantités de semences employées varient de 30 à 100 kg/hectare suivant le mode de culture (volée, semis en ligne à la main ou au semoir) la propreté des terres et la variété.

— Sénégal (Casamance) : 70 kg/ha (avec 0,40 m entre les lignes).
— Côte d'Ivoire : 50 à 60 kg/ha, (avec 0,30 à 0,40 m entre les lignes).
— Nord-ouest de Madagascar (Baiboa) : 30 à 60 kg/ha (avec 0,30 à 0,50 m entre les lignes).

Les semences doivent être désinfectées (voir plus loin « riz aquatique »). Contre les attaques de termites, le traitement insecticide curatif du sol est préconisé en Casamance.

c) **Désherbage**

Le désherbage manuel doit être entrepris sans tarder (12 à 15 jours après le semis) ; 2 à 3 sarclages sont nécessaires.

En culture familiale, il est avantageux de pratiquer le sarclage mécanique avec des houes à main. La houe attelée peut aussi être utilisée pour le 1er sarclage.

L'intérêt du sarclage chimique est de permettre le désherbage en temps opportun ; contre les mauvaises herbes la main-d'œuvre disponible ne réussit que très rarement à assurer à temps la protection de la culture par sarclage manuel (coût du traitement élevé).

Si l'infestation est surtout constituée de graminées, le traitement à base d'oxadiazon (Ronstar®) est intéressant. Il s'applique juste après semis en prélevée des mauvaises herbes, en pulvérisation sur terrain humide à l'aide d'un pulvérisateur classique (dilution 200 à 400 l/ha) ou pulvérisation à bas volume (dilution 20 à 40 l/ha).

Si la flore adventice est riche en asteracées, cyperacées, euphorbiacées en outre des graminées il est recommandable d'avoir recours à un traitement à base de propanil associé à d'autre matières actives comme le bentazone (Basagran PL2®), le phenothiol (Herbit Plus®) ou le trichlopyr (Garlex®) . Ces traitements s'appliquent en post-levée au stade 3 feuilles des mauvaises herbes, en pulvérisation classique (dilution 200 à 300 l/ha).

La lutte contre l'enherbement des rizières est facilitée par la rotation des cultures en riziculture pluviale.

4.1.3. FUMURE

L'effet des engrais sur le rendement du riz pluvial est assez irrégulier, car il

est soumis aux conditions d'alimentation hydrique de la plante, qui constituent le facteur limitant prioritaire. L'azote est l'élément essentiel de la fumure ; les doses préconisées sont en général de l'ordre de 40 à 50 kg/ha.

En Côte d'Ivoire, la formule d'engrais recommandée comprend :

— N = 50 kg/ha
— P_2O_5 = 40 kg/ha

En Centrafrique, après coton fumé, on préconise :

— N = 40 kg/ha
— P_2O_5 = 25 kg/ha

4.2. Culture aquatique avec maîtrise plus ou moins complète de l'eau

On distingue la culture irriguée et la culture inondée, selon que l'on a la maîtrise complète du plan d'eau ou simplement une maîtrise incomplète. Dans ce dernier cas la vitesse de montée du plan d'eau est importante. Elle peut varier suivant les variétés mais ne doit excéder en aucun cas 2 cm/jour.

Cependant, si l'on considère la culture de riz flottant comme une culture inondée, le chiffre de 2 cm/jour est faible. A Mopti, avec un certain contrôle de la montée de la crue, la hauteur du plan d'eau augmente environ de 5 cm par jour.

Le terrain doit être aménagé pour retenir l'eau procurée, soit par les pluies, soit par l'irrigation, soit par une combinaison des deux.

4.2.1. PRÉPARATION DU SOL

En culture aquatique, avant toute chose, il faut :

— planer le terrain : opération de nivellement ;
— construire des diguettes qui coupent le terrain en casiers et sont destinées à maintenir l'eau. Ces diguettes épousent les courbes de niveau, avec cependant une légère pente (0,4 à 0,6 pour 1 000) destinée à faciliter l'écoulement de l'eau aux périodes d'assèchement ; elles ont 0,20 à 0,50 m de haut, 0,80 à 1,20 m à la base et sont enherbées. Dans un « casier », la différence de niveau entre point bas et point haut n'excèdera pas 20 cm ; 10 à 15 cm sont préférables ;
— procéder à un aménagement hydraulique (canaux, moyens élévatoires) destiné à la fois à l'irrigation et au drainage (cf. chapitre VIII).

Ensuite, il faut préparer le sol par un labour à 15 cm et une mise en boue par hersages répétés (sur la même profondeur) peu de temps avant usage, sur sol très humide ou légèrement submergé (cf. chapitre Machinisme pour les appareils utilisés).

On peut aussi préparer le sol à sec.

4.2.2. MULTIPLICATION

Semences

On prépare utilement les semences (âgées de 3 à 6 mois) :

— par un traitement fongicide ou mixte (fongicide, insecticide). Actuellement on peut utiliser des mélanges à base de carbosulfan (insecticide), captafol et bénomyl (fongicides). Un tel mélange existe dans le commerce (Mélange Marshal®) mais de nombreuses formulations sont disponibles nécessitant des traitements de 200 à 500 g de produit commercial par 100 kg de semences ;

— par prégermination : exposition à l'air et à l'ombre de semences trempées : (immersion des sacs de riz pendant 24 h., puis exposition à l'air pendant 1 à 3 jours selon la température).

On distingue deux types de culture suivant le mode de semis :

— semis direct ;

— semis en pépinière suivi d'un repiquage.

Avantages du semis direct :	Inconvénients du semis direct :
Economie de main-d'œuvre en début de végétation.	La totalité de la rizière doit être prête au même moment.
Les plants ne subissent pas de chocs physiologiques, le cycle est plus court.	Nécessite plus de semences. Maîtrise de l'eau plus délicate. Et planage plus rigoureux.
Se prête mieux à la culture mécanisée.	Sarclages plus nombreux (ou herbicides).
Rendements assez comparables si semis en lignes.	Rendements plus faibles si semis à la volée.

Semis direct

On sème des grains germés, à la volée (100 à 200 kg/ha suivant variétés) (peuvent être exécutés par avion) ou en lignes (60 à 160 kg/ha) sous 2 à 5 cm d'eau, hauteur maintenue jusqu'à ce que les plants aient 15 à 20 cm on sème encore souvent à sec (en ligne, avec semoirs) et on submerge immédiatement après. Espacements de 0,15 à 0,40 cm suivant variétés et fertilité du sol (plus dense en sol pauvre, moins dense pour les variétés tallant beaucoup surtout en sol riche).

En Afrique tropicale, la date des semis est souvent fonction des premières pluies qui conditionnent les possibilités de travail du sol. Il faut retenir que l'on a toujours intérêt à semer tôt et que les jeunes plantules sont sensibles à la sécheresse. Si l'on dispose d'eau toute l'année, la date de semis sera fonction de la durée du cycle de la variété retenue, la récolte devant arriver en période sèche.

Dans ce cas, en utilisant 2 variétés judicieusement choisies, il sera souvent possible de faire 2 récoltes par an sur la même parcelle.

Pépinières

Établies à proximité de la rizière, doivent être très propres, très soigneusement ameublies en surface, bien fumées, surtout en acide phosphorique, divisées en planches de 10 m si la surface en est grande.

Il faut 1/20 à 1/30 de la surface de la rizière dans de bonnes conditions. En Afrique tropicale il est bon de tabler sur 1/10 à 1/20.

On sème de 4 à 12 kg par are de pépinière.

On sème des grains germés et traités.

On sème sur terrain humide (sous 2 cm d'eau si on craint les prédateurs) et on submerge dès la levée en suivant le développement des plants sans toutefois dépasser 6 à 10 cm.

A Madagascar, la technique suivante est préconisée :

La pépinière est mise en boue très fluide, au moyen d'une houe rotative et bien planée, on y sème les grains prégermés en les projetant vers le sol où ils s'enfoncent légèrement, on laisse sans eau jusqu'à ce que la plantule ait 1 cm, puis on met en eau la nuit et on assèche le jour ; lorsque le plant a 10 cm, on épand du sulfate d'ammoniaque et on met en eau définitivement. De cette façon, en saison chaude, on obtient en 21-35 jours des plants suffisamment longs pour être repiqués, trapus, à forte capacité de tallage.

Méthode « Dapog » : Utilisée aux Philippines principalement, elle permet d'obtenir avec 45 à 65 kg de semences sur 60 m² les plants nécessaires à la plantation d'un hectare avec le minimum d'eau :

Confectionner des planches bien horizontales de 1 m de largeur et de 5 à 10 cm de profondeur : placer dans le fond un film en matière plastique ou des feuilles de bananier ou de vieux sacs d'engrais de façon à empêcher les racines de pénétrer dans le sol ; sur ce support, disposer sur 2 cm d'épaisseur un terreau composé de : 1/4 de fumier de parc, 1/4 de terreau, 1/4 de sciure de bois, 1/4 de sable. Planer et mouiller à refus. Semer les grains prégermés à la dose de 800 g au m². Ce semis est recouvert de 1 à 2 mm de terreau tamisé. Maintenir l'humidité par des arrosages en pluie fine.

8 et 10 jours après le semis, pulvériser une solution de fongicide (carbaryl) sur les planches en dépassant de 2 mètres tout autour.

Les plants sont bons à repiquer 9 à 14 jours après le semis.

Découper des bandes de 10 à 15 cm de largeur, les détacher du support imperméable, les rouler sur elles-mêmes, comme une natte, pour faciliter le transport.

Sur la rizière en eau et bien planée, poser des éléments de 3 à 4 plantules avec le subtratum de terreau suivant les écartement habituels.

Repiquage :

La durée de séjour en pépinière a une influence déterminante sur les rendements ultérieurs comme le montre le tableau ci-après (expérience de Dobelman sur « Ali Combo » à Madagascar) :

Age du plant lors du repiquage	Repiquage à date fixe (15 mai)		Semis à date fixe (25 avril)	
	Date du semis	Rend. (kg/ha)	Date repiquage	Rend. (kg/ha)
20 jours	25 avril	7 648	15 mai	6 174
30 jours	15 avril	7 343	25 mai	5 808
40 jours	5 avril	5 555	5 juin	4 906
50 jours	25 mars	3 960	15 juin	3 481
60 jours	15 mars	3 491	25 juin	1 259
70 jours	5 mars	3 421	5 juillet	890
80 jours	25 février	2 554	14 juillet	560
90 jours	15 février	1 890	25 juillet	400

Les plants bons à repiquer sont arrachés, lavés, bottelés, habillés et repiqués le jour même ou dans les 48 heures au maximum par touffes de 1 à 10 plants suivant fertilité du sol (moins il y a de plants, meilleur est le tallage) à 2,5 - 5 cm de profondeur et disposés en lignes à raison de 10 à 20 touffes au m^2 ; le nombre de plants par touffe et le tallage doivent conduire à l'obtention de 200/220 panicules au m^2.

La reprise demande 4 à 15 jours.

Les manquants sont remplacés 8 à 15 jours après le repiquage par prélèvement sur la pépinière ou sur les touffes déjà repiquées.

4.2.3. ENTRETIEN

L'irrigation est continue pendant la vie du plant jusqu'à la maturation. La lame d'eau, servant de volant de température, aura une épaisseur d'autant plus grande que les écarts quotidiens sont plus élevés; elle aura de 10 à 25 cm. En semis direct on abaisse la lame au moment du tallage pour la relever par la suite.

La lutte contre les adventices doit être constante et rigoureuse : emploi de semences propres, assolement, pépinière et rizière très propres, bon réglage du niveau d'eau y répondent par avance. De même, on veillera à ce que les herbes protégeant les diguettes ne montent pas à graine.

2 à 3 sarclages, le premier 3 semaines après repiquage (ou semis), seront nécessaires.

La lutte contre les riz sauvages est difficile et onéreuse. Il s'agit d'un problème essentiel, pour lequel il n'existe pas de solution miracle.

Contre les riz sauvages pérennes (à rhizomes), on peut lutter de la façon suivante :

— en début de saison sèche, extirpation et destruction des rhizomes, à l'aide de façons culturales appropriées (labour) cette méthode a donné de bons résultats dans certains cas ;
— en végétation, fauchage sous l'eau ; cette méthode a l'inconvénient de sacrifier une saison de culture, mais elle est très efficace ; les rhizomes sont asphyxiés et meurent. Ce travail est malheureusement d'une exécution difficile et exige beaucoup de main-d'œuvre.

Contre les riz sauvages annuels, dont certains possèdent une faculté de multiplication explosive liée à l'égrenage spontané, il est difficile de lutter :

— pré-irrigation suivie d'une façon culturale légère ; cette pratique est recommandée lorsqu'on veut repiquer le riz.
— sarclage mécanique, qui exige de semer en lignes ou en poquets.

On ne connaît actuellement aucun herbicide susceptible d'éliminer sélectivement le riz sauvage dans une population d' ***O. sativa*** ou d'***O. glaberrima.***

Par contre, la lutte chimique contre les autres mauvaises herbes est techniquement possible :

a) **S'il y a maîtrise de l'eau** (possibilité d'assèchement de la rizière) :

Le propanil déjà recommandé en culture pluviale donne de bons résultats contre les graminées.

On le trouve aujourd'hui dans le commerce surtout associé à d'autres molécules ce qui donne à l'herbicide un large spectre d'action. Selon la flore rencontrée on pourra recommander le mélange propanil-thiobencarbe (Tamariz®) ou propanil-bentazone (Basagran PL2®)) ou propanil-phénothiol

(Herbit plus®). Le 2-4 D (Herbazol) mélangé au Tamariz est particulièrement efficace sur les cypéracées et un grand nombre de dicotylédones mais exige des précautions d'emploi en liaison avec sa phytotoxicité sur de nombreuses plantes cultivées (cotonnier notamment). Il doit s'appliquer dans des conditions de parfaite maîtrise de l'eau et en l'absence de tout vent.

b) **Si l'on ne peut assécher la rizière et s'il y a en permanence une lame d'eau de 5 à 15 cm** des formulations intéressantes sous forme d'émulsion ou de granulés à épandre sont disponibles dans le commerce. Le molinate (Ordram®) s'applique dans l'eau en post-émergence des adventices, le niveau d'eau doit rester constant et toujours recouvrir les adventices. De nouveaux produits à base de méthyle de Bensulfluron (Londax®) particulièrement efficaces contre les cypéracées sont apparus récemment sur le marché.

— **Riz repiqué**

Utiliser les phyto-hormones de synthèse : c'est le traitement le moins coûteux.

4.2.4. FUMURE

4.2.4.1. *L'Azote*

Cet élément est le pivot de la fumure du riz. Il existe une forte interaction variété x fumure :

Les riz de courte taille répondent beaucoup mieux à l'azote que ceux de grande taille. On peut leur appliquer, sans inconvénient, des doses allant jusqu'à 150 kg/ha d'azote, à condition, de ne pas craindre les attaques de champignons (*Pyricularia oryzae* et autres) ou la verse.

Seuls les engrais ammoniacaux doivent être utilisés à l'exclusion des nitrates.

L'azote doit être enfoui à 5 cm au moins, et si possible à 10 cm (Madagascar).

Les périodes critiques de l'alimentation azotée du riz se situent au moment du tallage et à celui de l'initiation paniculaire. Divers types de fractionnement sont recommandés :

— Madagascar : repiquage (1/2 ou 2/3),
montaison (1/2 ou 1/3).

— Mali : tallage (3/8),
montaison (5/8).

Le fractionnement est surtout recommandé dans les sols légers.

Il est moins utile dans les sols lourds possédant un bon complexe absorbant, et à condition que la submersion soit continue.

4.2.4.2. *Le phosphore*

Les sols de rizière ont, vis-à-vis du phosphore, un comportement très variable ; la dose d'engrais phosphaté doit être déterminée expérimentalement. Le phosphate d'ammoniaque a une action très rapide, même lorsque les autres formes de phosphore ne marquent pas (sols argileux à fort pouvoir fixateur).

4.2.4.3. *La potasse*

La paille de riz contient 80 % de la potasse exportée par la récolte, ce qui justifie son enfouissement. Sauf cas particulier, la réponse à l'apport de potasse est faible ou nulle.

4.2.4.4. *Quelques exemples de formules d'engrais (kg/ha) :*

Pays	N	P_2O_5	K_2O	Observations
Côte d'Ivoire	100	50	50	Pour un objectif de rendement supérieur à 3 t/ha
Burkina Faso	90	60	40	
Madagascar (formule légère)	30	62	45	

4.3. Récolte

• Coupe

Le stade optimum de maturité est celui qui permet le meilleur rendement à l'usinage. Il correspond au moment où la majorité des panicules ont leur axe principal sec sur un à deux tiers de sa longueur.

Entre l'épiaison et la maturité, il faut compter en général 30 à 35 jours en régions tropicales à basse altitude.

Pour la production de semences, le stade optimum de maturité est plus tardif.

L'asséchage de la rizière se fait 2 à 3 semaines avant la récolte (les panicules se penchent, les grains de la base sont encore pâteux ceux du sommet virent au jaune). Les grains ne doivent être ni trop mûrs (fendillés) ni verts.

La récolte a lieu avec une faucille ou une faux à 20-30 cm au-dessus du sol ou au couteau à 30-50 cm sous la panicule (tiges couchées sur le sol).

On récolte également à l'andaineuse, à la moissonneuse-lieuse ou moissonneuse-batteuse. Bottelage, séchage des gerbes au-dessus du sol 3 à 4 jours, puis confection de tas ou meules recouverts de paille hors du champ et à l'ombre.

• Battage

Il s'effectue soit au fléau, soit contre une pierre, une planche etc., soit à la batteuse.

• Séchage du paddy

Il faut abaisser la teneur en eau jusqu'à 14 % (pour un bon point de coupe, elle est de 23-28 % et après séchage en gerbes de 20 %).

On sèche à l'air et à l'ombre (pour éviter le clivage des grains) en remuant souvent.

Artificiellement ou bien dans des appareils à circulation d'air forcée à la température ambiante, en fours à air chaud (35° C environ 24 heures) (2 à 4 passages d'une demi-heure avec appareil à colonne à air à 43-45° C).

4.4. Rendements

Ils sont très variables suivants : les variétés, le type de culture, les conditions écologiques, la conduite de la culture.

On peut toutefois retenir des moyennes de rendement (en paddy) souvent obtenues :

— Culture pluviale traditionnelle : 7 à 12 qx/ha.
— Culture pluviale améliorée : 20 à 30 qx/ha.
— Culture inondée traditionnelle : 10 à 20 qx/ha.
— Culture inondée améliorée : 30 à 40 qx/ha.
— Culture irriguée : 40 à 70 qx/ha.

Plus de 70 qx en Australie, 60 en Espagne, plus de 50 en Italie.

Moyenne : Madagascar, 20,7 ; Sénégal, 14,2 ; Côte d'ivoire, 10,0 en culture pluviale, 40 en irrigué ; Haute-Volta, 9 à 60 en irrigué (Chiffres FAO 1971).

5. ENNEMIS ET MALADIES DU RIZ

(cultures pluviale et aquatique)

Les ennemis et maladies du riz sont fort nombreux. Il ne s'agit ici que de signaler les principaux.

5.1. Maladies

5.1.1. LA PYRICULARIOSE (*Pyricularia oryzae*)

Cette maladie revêt une grande gravité qui tend à s'accroître avec la pratique de cultures plus intensives. Ses symptômes peuvent se manifester sur toutes les parties aériennes du riz :

Description :

Cette maladie peut atteindre tous les organes de la plante, mais les attaques les plus fréquentes sont celles des feuilles, des cous, des rachis de la panicule, des ligules et plus rarement des nœuds de la tige. Les lésions foliaires typiques sont allongées en forme de fuseau gris-vert au début ; elles deviennent par la suite brun pâle avec un centre différencié parfois gris, entouré d'un liseré brun. Toutefois leur forme et leur couleur peut varier beaucoup selon les variétés et les conditions de milieu, ce qui rend cette maladie difficile à distinguer de l'helminthosporiose. Elle se différencie souvent de cette dernière par une plus grande irrégularité de la répartition des lésions sur la plante. Les jeunes lésions de pyriculariose se caractérisent par leur aptitude à sporuler lorsqu'elles sont placées dans une enceinte humide, ce qui n'est pas le cas pour les taches d'helminthosporiose. Les attaques sur cou sont plus aisément reconnaissables parce qu'elles provoquent une lésion brun-gris à noir, limitée à une portion de l'organe. Elles sont responsables de dégâts qui peuvent aller de la stérilité totale de la panicule (ce qui peut amener une confusion avec les dégâts dus à des foreurs de tiges) à une stérillité partielle beaucoup plus discrète accompagnée d'un échaudage des grains important.

L'apparition et le développement de la pyriculariose dépendent des facteurs principaux suivants :

— Sensibilité de la plante : 3 stades critiques (à la fin du séjour en pépinière, au tallage, au début de la floraison).
— Nutrition azotée: de fortes doses d'azote favorisent l'infection.
— Alimentation hydrique : tout manque d'eau accroît l'incidence de la maladie.
— Température : des températures allant de 18 à 26° C favorisent la maladie ; la chute nocturne au-dessous de 20° C augmente son incidence.
— Humidité de l'air .

— Présence de l'inoculum (permanente en région tropicale).
— Sensibilité variétale.

MÉTHODES DE LUTTE

L'utilisation de variétés résistantes est le meilleur moyen de lutte. La résistance de certaines variétés (IR 8) est tombée assez vite par suite de l'apparition de nouvelles races du parasite. On sélectionne maintenant des variétés pérennes d'une résistance polygénique durable. Des variétés pluviales traditionnelles (63-83, Morobérékan, RS 25 t) et améliorées (IRAT 13, IRAT 177, IRAT 216, IRAT 144) possèdent cette résistance.

La lutte chimique, utilisée au Japon, en Corée, à Formose, en Colombie, au Brésil, n'est pas rentable dans la plupart des pays rizicoles. Parmi les fongicides utilisés, on trouve des antibiotiques comme la kasugamycine, des organophosphorés tels ediphenphos (hinosan) et kitazin, l'organochloré rabcide, le mancozèbe, mais aussi des inhibiteurs de mélamines comme le tricyclazole (Beam).

Les méthodes culturales jouent un rôle très important, il faut :
— assurer une bonne alimentation hydrique (conduite de l'irrigation et du drainage).
— pour la culture pluviale, assurer un bon enracinement par un labour profond ;
— un apport d'azote limité, en fonction de la variété et du type de sol.

5.1.2. AUTRES MALADIES

a) Maladie des taches brunes, ou helminthosporiose

Les symptômes les plus courants se manifestent par des taches sur les feuilles : petites, rondes et uniformément brunes, ou ovalaires et atteignant une longueur de 1,5 cm ; la partie centrale de ces taches est brun clair, et entourée d'une bande foncée se prolongeant extérieurement par un halo brunâtre. La maladie ne prend de l'importance que si les conditions de culture sont mauvaises : sol submergé toute l'année, carence en silice, etc. La correction des facteurs défavorables élimine la maladie. Toutefois, il y a des variétés plus résistantes que d'autres. En cas de contamination des semences, leur traitement évite les pertes à la levée.

b) La rhyncosporiose

Les symptômes sont caractéristiques par la grande taille des lésions (plusieurs cm) sur lesquelles on distingue aisément des stries d'accroissement. Le choix variétal est le moyen de lutte le plus approprié bien que de nombreux fongicides soient efficaces. Cette maladie n'est grave que dans les régions à forte pluviosité.

c) Flétrissement des gaines

Cette maladie est due à *Rhizoctonia solani.*

Dans une rizière, c'est une maladie qui se propage souvent en taches.

Le champignon provoque des lésions qui démarrent au niveau de l'eau par des taches ovoïdes, d'environ 1 cm, de couleur gris-vert. Puis ces lésions peuvent s'agrandir avec des contours irréguliers. Les symptômes se produisent sur les gaines puis sur les feuilles et, dans le cas d'attaque grave, sur les feuilles paniculaires.

La contamination se fait par les organes de survie du champignon, les sclérotes, qui peuvent survivre dans le sol et être véhiculés par l'eau d'irrigation.

C'est une maladie localement grave.

Moyens de lutte : la résistance variétale est quantitative, et les instituts de recherche éliminent les lignées les plus sensibles. La lutte par fongicide est très peu développée.

d) La cercosporiose

Cette maladie se manifeste par de petites stries brunes et les dégâts importants sont exceptionnels. La multiplication de variétés sensibles peut rendre la maladie grave.

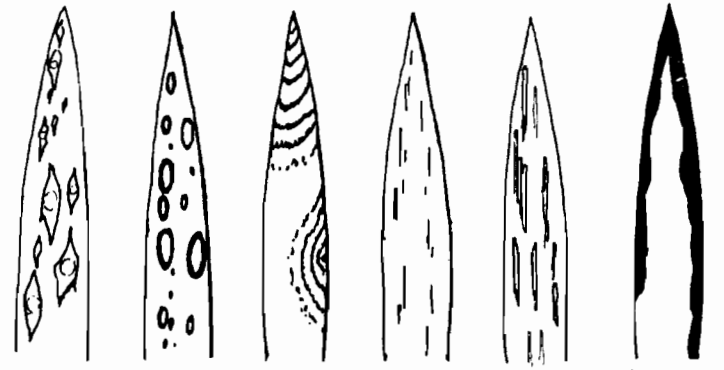
e) Le charbon vert

C'est une maladie spectaculaire, le grain est remplacé par un paquet de spores verdâtres qui atteignent un volume triple du volume du grain. Cette maladie est en général sans gravité.

f) Les bactérioses

— Trois bactérioses font des dégâts en Afrique de l'Ouest :

- **la bactériose des stries translucides** (*Xanthomonas campestris* pv. *translucens*) est signalée dans la plupart des pays rizicoles tropicaux, les dégâts qu'elle provoque peuvent être localement graves. La lutte passe par le choix des variétés les moins sensibles,
- **le flétrissement bactérien** (*Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*) connu depuis très longtemps en Asie, a été décrit pour la première fois en Afrique en 1979 et s'est depuis étendu à toute la zone sahélienne. Le seul moyen de lutte est l'emploi de variétés résistantes,
- **la pourriture brune des gaines** due à *Pseudomonas fuscovaginae* a été identifiée au Burundi et à Madagascar dans les zones d'altitude où elle fait d'importants dégâts. Cette maladie est connue depuis trop peu de temps pour que les moyens de lutte les meilleurs aient pu être identifiés.



PRINCIPALES MALADIES FOLIAIRES DU RIZ

g) Viroses

Des viroses différentes sont connues sur chaque continent, hoja blanca en Amérique du Sud, tungro, grassy stunt, etc. en Asie. En Afrique, le rice yellow mottle (RYMV) a été décrit au Kenya puis dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest. Il provoque localement d'importants dégâts. La résistance variétale est associée au type japonica. La recherche de variétés résistantes est activement conduite.

5.2. Ennemis

5.2.1. NÉMATODES

Plusieurs nématodes sont répandus en Afrique de l'Ouest. Le bout blanc (white tip) dû à *Aphelenchoides besseyi*, l'ufra dû à *Ditylenchus angustus*, et les dégâts dus à *Hirschmaniella spinicaudata* ont été décrits. L'évaluation des pertes, très difficile à réaliser, est peu précise et l'importance des dégâts dus aux nématodes est contreversée.

5.2.2. INSECTES

Parmi les principaux on peut citer :

a) **Les foreurs de tiges** (borers) (larves vivant dans la lumière des tiges)

En culture irriguée intensive, leurs dégâts sont toujours importants. On peut distinguer :

— des Lédidoptères foreurs de tiges (Pyralles, Noctuelles)
— des Diptères borers et endophages (Diopsides, Cecidomyie) (Afrique Ouest notamment).

Certains symptômes sont caractéristiques :

— en cas d'attaque précoce : mort des talles en commençant par les feuilles supérieures (symptôme du « cœur mort »).
— en cas d'attaque tardive (montaison), panicule blanche.
— la Cecidomyie provoque une gale en forme de feuille d'oignon très caractéristique.

Les dernières expérimentations ont mis en évidence l'efficacité :

— du chlorfenvinphos avec deux applications de 1 000 g ma/ha particulièrement contre Chilo sp. ;
— du diazinon avec deux applications de 2 000 g ma/ha ou de l'isophenphos avec deux applications de 1 000 g ma/ha contre Diopsis sp. ;
— du carbofuran avec deux applications de 400 à 800 g ma/ha contre les populations de Diopsis et Chilo sp.

Tous ces produits sont utilisés en formulation granulée.

b) **Destructeurs des feuilles**

Les dégâts sont particulièrement importants en début de culture jusqu'au milieu du tallage.

Le carbofuran à deux applications de 400 à 800 g ma/ha est actuellement le plus efficace, probablement en raison de sa bonne action systémique.

c) **Polyphages divers**

Deux noctuelles : ***Spodoptera exempta*** et ***S. exigua*** (Army. Worms) notamment sur riz pluvial. La courtillière ***Gryllotolpa africana*** et des termites.

L'irrigation est un obstacle, au moins partiel, à l'attaque de ces insectes.

Les cicadelles ne posent pas de problèmes particulièrement importants actuellement en Afrique en raison du rôle négligeable joué par les viroses.

d) **Insectes des stocks**

Le paddy est relativement peu attaqué. Par contre le riz usiné est très sensible aux attaques des insectes des stocks. Parmi ceux-ci citons *Sitophilus oryzae L.*, *Sitotroga cerealella* Oliv, *Rhizopertha dominica F.*

En zone humide, il est recommandé de traiter le paddy, même destiné à la consommation, par poudrage au Pyrimiphos-methyl.

6. TECHNOLOGIE

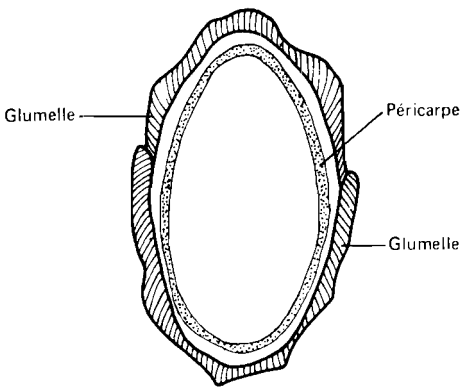
6.1. Préparation et conditionnement du riz blanc

L'usinage a pour but de débarrasser le paddy de ses glumes et glumelles. C'est l'opération du décorticage et on obtient le « riz décortiqué » ou « riz cargo ». Puis on débarrasse le « riz décortiqué » des différentes couches du péricarpe. On obtient alors le « riz blanc » par l'opération du blanchiment.

Dans une rizerie, le paddy subit les opérations suivantes :

Nettoyage : le paddy sera propre après passage dans des nettoyeurs-calibreurs, dans des cribles-aspirateurs et dans des trieurs à disques alvéolés.

Ébarbage : le paddy propre possédant des barbes donne du paddy ébarbé après passage dans un ébarbeur, puis dans un crible aspirateur.

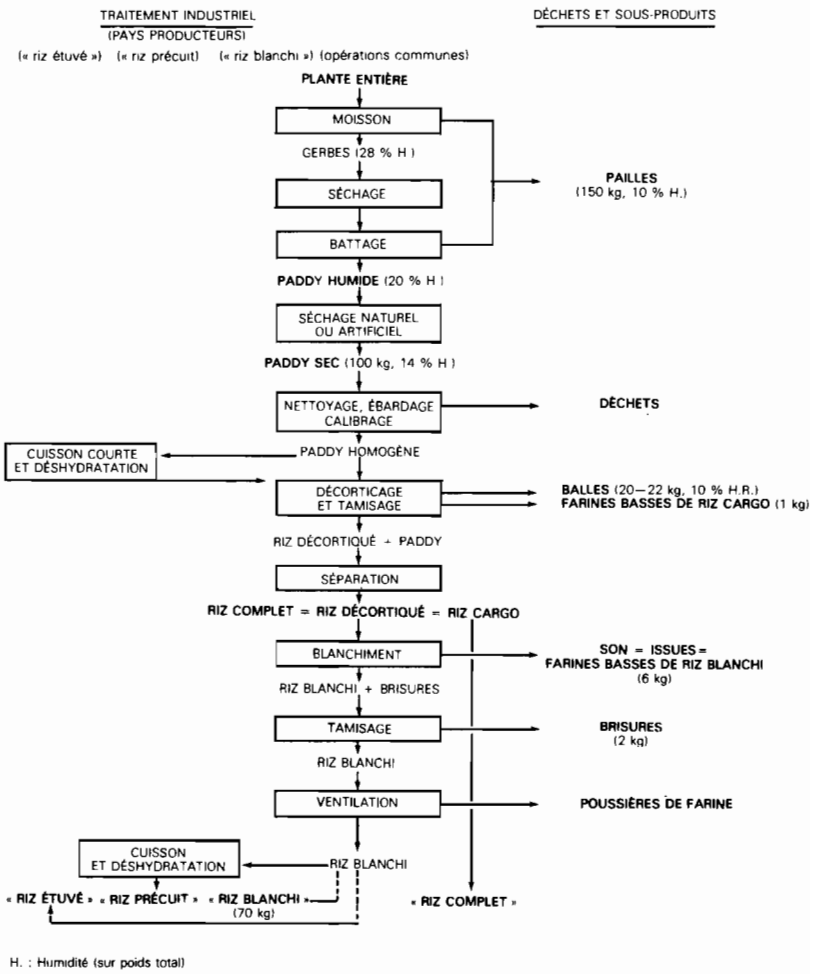


COUPE D'UN GRAIN DE PADDY

Classement du paddy par dimension : pour ce faire, le paddy passe dans des trieurs à disques, dans des cylindres-calibreurs et dans des cylindres-trieurs à alvéoles.

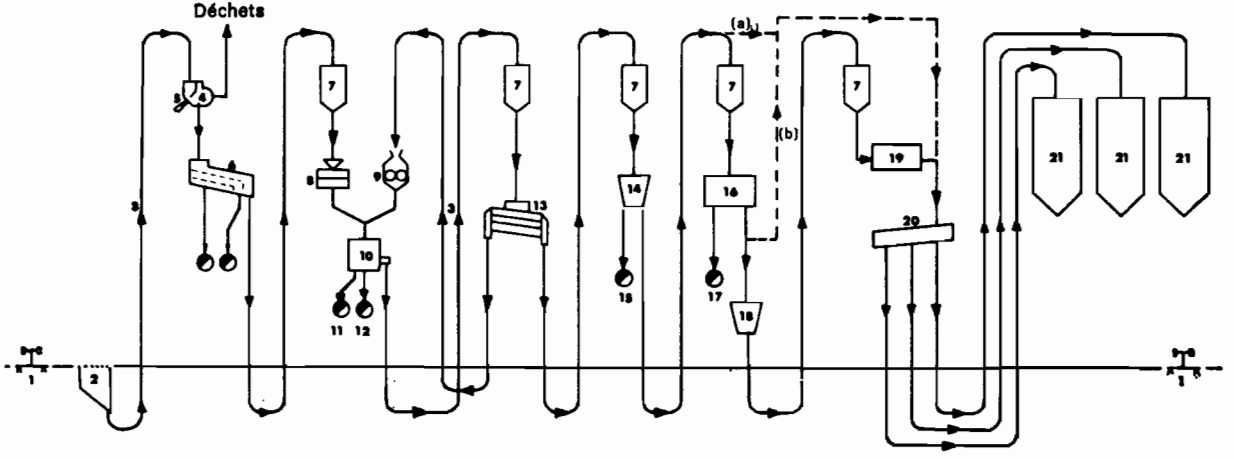
RIZ

SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



H. : Humidité (sur poids total)

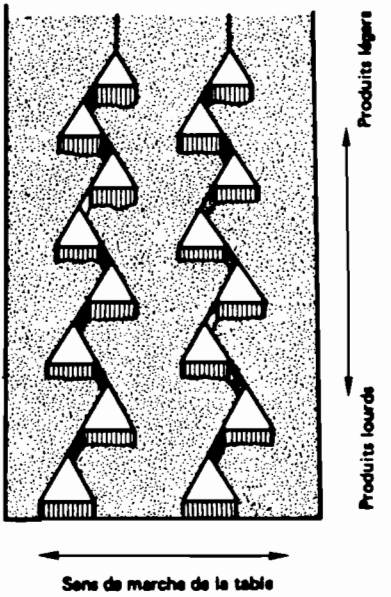
SCHÉMA D'UNE RIZERIE



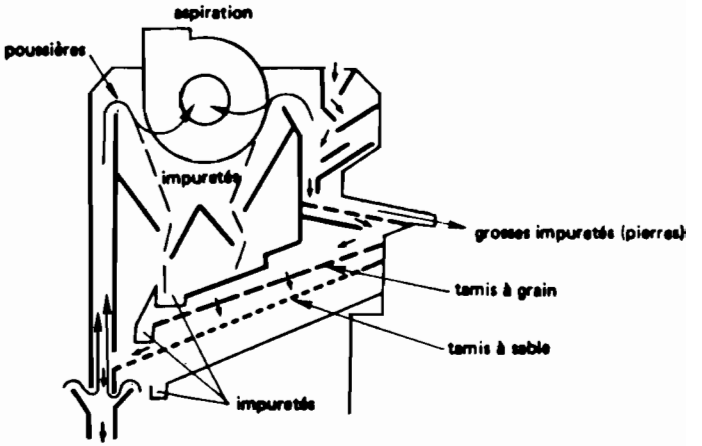
1 Pont bascule
2 Trémie
3 Elévateur
4 Nettoyeur
5 Séparateur magnétique
6 Calibreurs
7 Trémie de compensation des débits
8 Meules à décortiquer
9 Décortiqueur à rouleaux
10 Tamis
11 Sortie balles
12 Sortie farines basses
13 Séparateur à paddy
14 Cône à blanchir
15 Farines basses
16 Tamis + aspirateur
17 Brisures
18 Cône à polir
19 Tambour à glacer
20 Trieur alvéolaire
21 Stockage des produits à commercialiser

(a) (b) Circuits utilisés le plus fréquemment dans les rizeries traditionnelles

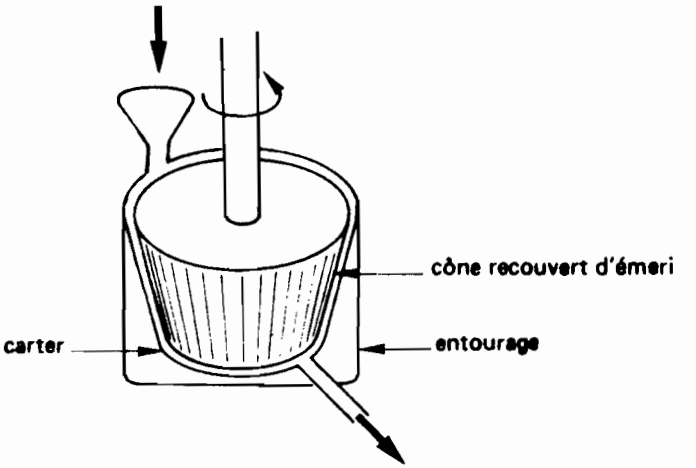
TABLE DENSIMÉTRIQUE



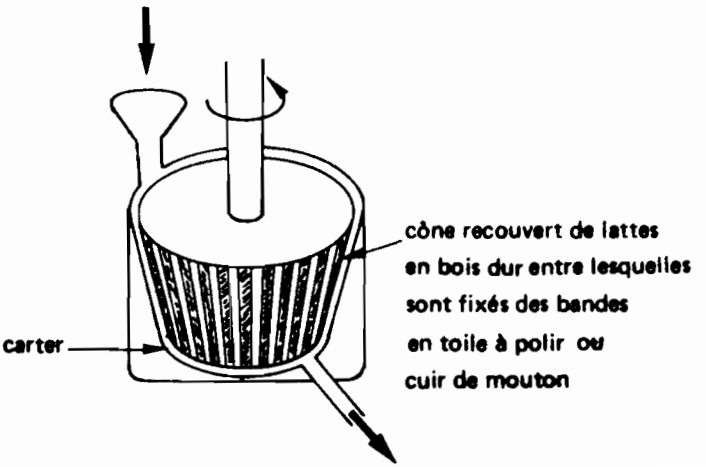
TARARE ASPIRATEUR

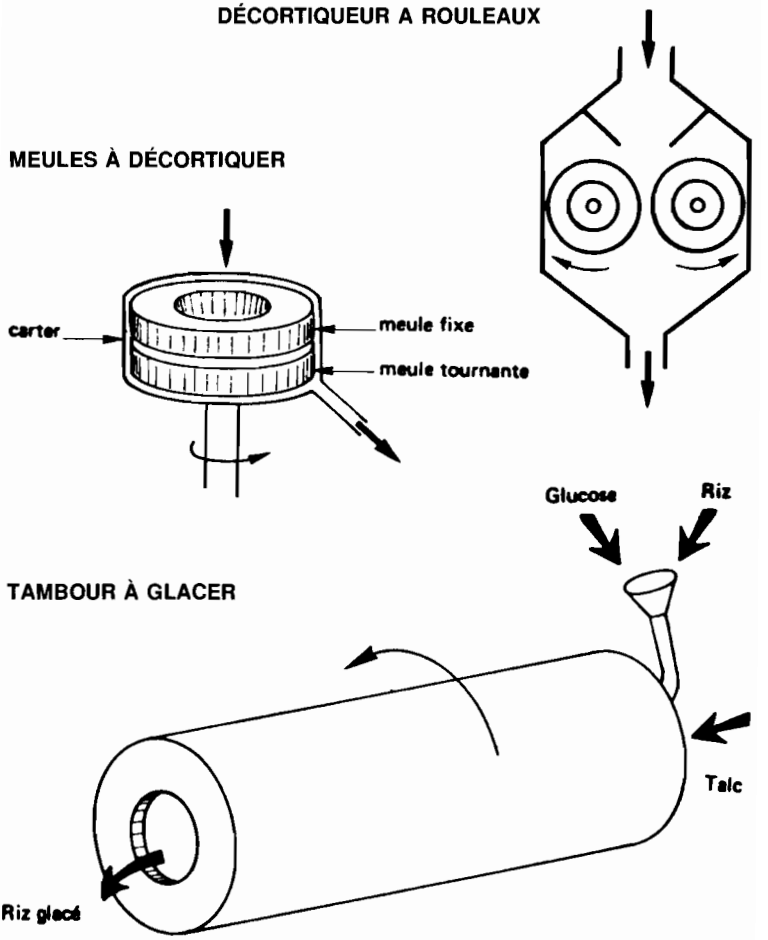


CÔNE A BLANCHIR



CÔNE À POLIR





Décorticage : le paddy se transforme en riz décortiqué après passage dans des décortiqueurs à meules, ou dans des décortiqueurs à rouleaux.

En plus du riz décortiqué, on obtient des balles et du son et des brisures cargo. Un certain nombre de grains n'ont pas été décortiqués et demeurent sous forme de paddy.

Séparation : du paddy et du riz décortiqué dans des plansichters ou dans des tables densimétriques.

Classement des riz décortiqués : après passage dans des cylindres-calibreurs et dans des cylindres-trieurs à alvéoles.

Blanchiment : le riz décortiqué se transforme en riz blanc après des passages successifs dans plusieurs cônes à blanchir. On obtient également des issues.

Calibrage des riz blancs : dans des plansichters et dans des tables densimétriques.

Polissage : le riz est poli dans des cônes à polir (bois revêtu de flanelle ou de peau).

Classement des riz blancs polis : après passage dans des cylindres-calibreurs et dans des cylindres-trieurs à alvéoles.

Glaçage : les riz blancs de luxe sont glacés dans un appareil à glacer (brassage avec un mélange de glucose et de talc).

Il existe une autre méthode de préparation du riz : **l'étuvage.** Ce procédé est pratiqué traditionnellement dans certains pays (Guinée, Mali). Employé industriellement il donne des riz de bonne conservation (parboiled rice, ou converted rice), qui gardent certaines couches du péricarpe, et qui sont donc plus riches en principes nutritifs. Le rendement à l'usinage est excellent, mais ce riz prend une teinte jaune, souvent un goût spécial, et n'est pas apprécié de tous les consommateurs (voir § 6.3.).

6.2. Rendement à l'usinage

Très variable suivant type d'usinage, variétés, taux d'humidité, homogénéité des lots (degré de pureté variétale).

	Rizerie industrielle		Procédés domestiques	
	Grains très longs	Grains ronds	Récolte en saison humide	Récolte en saison sèche
Riz blanc (entiers et 3/4)	40-50 %	55-60 %	25 à 35 %	40 à 55 %
Brisures nos 1 et 2	13-15	6-8	30 à 50	10 à 30
Brisures nos 3 et 4	1,5- 2	1,5		
Farines basses du riz blanc	6-10	9-10		
Farines basses du riz cargo	6-8,5	3	10 à 15	9 à 15
Balles	18-20	20	18-24	18 à 24

6.3. Étuvage du riz

6.3.1. TECHNIQUES TRADITIONNELLES (Guinée - Mali)
Deux méthodes.

6.3.1.1. Après trempage à l'eau froide pendant 1 à 2 jours, la gélatinisation est obtenue :
— soit en faisant bouillir l'eau contenant le riz ;
— soit en plaçant le riz seul dans un récipient à fond perforé placé au-dessus d'un autre où l'on fait bouillir de l'eau (cuisson à la vapeur).

6.3.1.2. Trempage dans de l'eau chaude portée à ébullition, laisser refroidir pendant la nuit ;
ou tremper dans l'eau chaude durant 3 à 5 heures et placer le riz dans un récipient à fond perforé posé sur un autre contenant de l'eau bouillante.

6.3.2. TECHNIQUES AMÉLIORÉES : 3 méthodes

6.3.2.1. Méthode birmane : trempage 3 jours à l'eau froide dans des cuves en ciment, et ensuite mise en place dans des cylindres métalliques verticaux contenant des tubes perforés en acier dans lesquels est envoyée la vapeur.

6.3.2.2. La méthode double-passe à la vapeur.
Le paddy est soumis à la vapeur dans les cylindres verticaux, puis est versé dans l'eau froide des cuves en ciment. Le paddy chauffé réchauffe l'eau, ce qui réduit le temps de trempage à 1 journée ou 1 journée 1/2. Le paddy est repris et traité à nouveau à la vapeur.
Dans la méthode de la double-passe améliorée l'eau de trempage dans les cuves est maintenue à 75°C par injection de vapeur par des tuyaux perforés placés dans les cuves elles-mêmes. La température plus élevée permet de réduire le temps de trempage et de supprimer le goût et l'odeur.

6.3.2.3. La méthode du C.F.T.R.I. — Les cuves en ciment sont remplacées par des cuves en acier où le trempage s'effectue pendant 3 à 4 heures dans l'eau à 70°C. Après vidage de l'eau, la vapeur est envoyée dans les réservoirs.

6.3.3. TECHNIQUES MODERNES

Le trempage à l'eau chaude est fait sous pression, de même que la cuisson à la vapeur. Le système américain comprend en plus un passage du paddy sous vide avant son trempage pour l'élimination de l'air compris entre amande et glumelles.
Une installation d'étuvage demande des équipements coûteux, de l'eau en quantité, chaude et sous pression, chaudière, carburant. Une station industrielle de 6 T/heure équivaut au prix d'une rizerie de même capacité de traitement/heure.

TECHNIQUES D'ÉTUVAGE

	Méthodes	Traditionnelles				Semi-modernes (semi-industrielles)				Modernes (industrielles)	
		A froid		A chaud		Birmane	Double-passe normale	Double-passe améliorée	CFTRI (Indes)	Europe	USA
TREMPAGE	Avant trempage	—	—	—	—	—	1re passe à la vapeur		—	—	Vide préalable
TREMPAGE	Température de l'eau	20 à 25°		100°C	70°C	20-25°C	20 à 40°C	75°C	70°C	70°C	70°C
TREMPAGE	Durée en heures	24 à 48 h		5' puis laisser refroidir 12 h	3 à 5 h	72	24 à 36 h	3 - 4 h	3 - 4 h	2 h en autoclaves (sous pression)	1 h
CUISSON	A l'eau	Ebullition 10'	—	Ebullition 10'	—	—	—	—	—	—	—
CUISSON	A la vapeur	—	Vapeur libre de 15' à 1 h	—	Vapeur libre de 15' à 1 h	5'	2e passe	5'	15'	en autoclaves (vapeur sous pression)	
	Séchage au soleil									Air chaud	Par le vide jusque vers 18 % d'humidité
	Goût et odeur	Très fort		Fort		Assez fort	Assez fort	Faible	Faible	Très faible	

In : MEUNIER (Jean). — *Manuel de riziculture*. Ed. provisoire, Paris. B.D.P.A., 1977.

6.4. Utilisations

6.4.1. EN ALIMENTATION HUMAINE

La composition alimentaire du grain de riz est :

	PADDY	RIZ DÉCORTIQUÉ
Eau	13 %	12 %
Glucides	73,1 %	75,5 %
Lipides	2,1 %	1,3 %
Protides	8,2 %	10 %
Matières minérales	3,6 %	1,2 %

La valeur énergétique varie peu entre riz décortiqué et riz blanchi, elle se situe autour de 350-360 calories aux 100 g. Elle est très comparable à celle du blé (riz cargo) ou de la farine de blé (riz blanchi). Cependant, la composition du riz blanchi est moins équilibrée : plus riche en glucides, cendres et P, il est plus pauvre en protides, lipides, cellulose, Fe et Ca.

Le riz cargo est assez bien pourvu en vitamines B et E, essentiellement localisées dans les couches périphériques du caryopse, sa teneur en vitamines A, C et D est nulle ou négligeable. Le blanchiment réduit considérablement le taux de vitamines. Le lavage avant cuisson et la cuisson avec excès réduisent encore le peu qui reste de près de la moitié.

La consommation **exclusive de riz blanchi** provoque le béribéri dû à l'absence quasi totale de vitamines et notamment de la thiamine. On lutte contre cette maladie par l'adjonction au riz blanc de **riz cargo** de façon à remonter le taux de la thiamine à 1,8 mg par kilogramme de riz (le riz cargo en contient 0,365 mg aux 100 g, le riz blanc 0,069) et en ajoutant à la ration des produits riches en vitamines : sauce de soja, nuocmam, viande, poisson, légumes verts.

Les riz **étuvés** ou **convertis** sont de valeur alimentaire supérieure à celle du riz blanc ordinaire.

6.4.2. PRODUITS DE TRANSFORMATION

— **Distillation** : Par procédés traditionnels : 20 à 35 % d'un alcool à 37-38°.
Par procédés industriels : 40 à 43 % d'alcool.
Drêches utilisées en alimentation animale (1,6 kg sec vaut 1 kg de paddy).

— **Boissons alcooliques fermentées.**

— **Brasserie.**

— **Amidonnerie** : 50 à 70 % d'amidon extrait des brisures.
Résidus utilisés en alimentation animale (2 kg sec pour 1 kg de paddy).

— **Huilerie** : Par solvants ou pression, on extrait l'huile des premières issues du blanchiment contenant 16-22 % de matière grasse : huile semi-siccative.
Tourteau en alimentation animale.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (d'après A. Angladette p. 749 op. cit.)

TEMPS REQUIS POUR LA CULTURE DU RIZ (JOURNÉES D'OUVRIERS PAR HECTARE) (3)												
	SUD-VIETNAM			NORD-VIETNAM		PHILIPPINES			ESPA.	BRÉSIL	USA	
OPÉRATIONS	Rizières hautes à simple repiqua.	Rizières à double repiqua.	Rizières à riz flottant	Riz. à 2 campag.		Riz. à 2 campag.		Rizières à une récolte	(Valence)	(Rio-Grande do Sul)	(Californie)	
				5e mois	10e mois	S. sèche	S. pluie					
Préparation sol :												
Fauchage		5 à 14	0 à 18						1,2			
Labours	10 à 11	9 à 6	6 à 15	22	18	4,8	6,1	8,3	10,8	4,5	1	
Roulage, hersage	2 à 3	7 à 10	9 à 25	18	15	11,8	9,7	12,4	6,4		1,4	
Réparation digues							0,9	6,6	13,5	7,5		
Pépinière ou semis	6 1/2	11	7			0,9	0,6	0,8		3,75		
Arrachage, transport plants	3 1/2			10	8		0,5	1,0	11,4			
Repiquage	12 à 15	10		14 à 35	7 à 28	8,3	7,0	6,6	11,4	9	2,1	
Irrigation }				60	0	1,4	1,2					
Sarclage }	10 à 15	5	10	60	60	6,6	4,4		33,6		(1)	
Récolte	10	10	15	35	28				27,0	11,25	0,2	
Battage	8	8	7	7	7	19,3	24,9	15,6	(2)	3	0,3	
Séchage et vannage	3	6	3	6	10	0,7	2,5	1,5	6,6	1,5	(2)	
Déchaumage				13	13				1,8			
Fertilisation						0,5			4,8		(1)	
TOTAL	66 à 74	71 à 80	55 à 100	245 à 266	166 à 187	54,3	57,8	52,8	128,5	40,5	5,0	
Rendement (t/ha) (sans aléa)	2,1	2,2	1,9	1,9	2,1	1,89	2,08	2,08	6,0	3,75	4,0	

(1) Travaux effectués par avion à la tâche.
(2) Travail à façon
(3) Les journées sont comptées à raison de 8 heures de travail.

7.2. Production Riz (paddy) 1985

CONTINENTS	Surface x 1 000 ha	Production x 1 000 t	Rendement kg/ha
Amérique du Nord et centrale	1 914	9 027	4 717
Amérique latine	6 122	14 348	2 344
Asie	129 977	427 537	3 289
URSS	667	2 600	3 898
Europe	388	2 087	5 379
Afrique	5 467	9 483	1 735
Océanie	140	893	6 378
Total mondial	144 675	465 975	3 221

Prod. Rang	PAYS	Surface x 1 000 ha	Production x 1 000 t	Rendement kg/ha
1	Chine F	32 075	171 479	5 346
2	Inde	42 000	91 500	2 179
3	Indonésie *	9 540	38 660	4 052
4	Bangladesh	10 430	21 900	2 100
5	Thaïlande	9 585	19 521	2 037

7. 3. Commerce 1985 Riz (en milliers de tonnes)

Rang	PAYS	Exportation	PAYS	Importation
1	Thaïlande	4 602	Bangladesh	741
2	USA	1 940	Philippines	538
3	Chine	1 050	Irak *	500
4	Italie	727	Malaisie *	480
5	Pakistan	719	Arabie Saoudite	427

F = Estimation FAO.
* = Données non officielles.

SAGOUTIER

Cycadacée **Sago palm**
Metroxylon

1. BUTS DE LA CULTURE

La moelle du stipe renferme une matière alimentaire farineuse, qui, traitée, fournit le sagou. Cette fécule se présente sous l'aspect de grains très durs, semi-transparents.

Le sagou sert à l'alimentation des Indonésiens ; exporté, on l'emploie pour préparer des potages.

2. BOTANIQUE

Le sagoutier est un palmier de taille moyenne (12-15 m). Il ne fleurit qu'une fois vers l'âge de 12-15 ans et meurt après la maturité des fruits provenant de cette unique floraison.

Le sagoutier se trouve essentiellement en Indonésie. Il aime les sols marécageux.

Deux espèces servent à la production de fécule :

— ***Metroxylon rumphii***, qui produit 500 kg de farine brute/arbre ;
— ***Metroxylon sagus***, qui produit 200 kg de farine brute/arbre ; mais de meilleure qualité.

3. MODE DE CULTURE

— Par **graines** ou plus fréquemment par **drageons** de 10 à 15 cm de long, prélevés sur des vieux pieds et plantés à des écartements variant suivant les régions de 5 à 9 m en tous sens.

— buttage des jeunes plants.

— suppression des repousses pour n'en laisser qu'un certain nombre (par exemple 5).

— abattage des arbres peu de temps avant leur floraison c'est-à-dire vers 10 à 12 ans. (10 à 18 aux Moluques).

C'est à ce moment-là qu'ils ont atteint leur plus grande taille et accumulé dans leur moelle le poids maximum de fécule.

4. RENDEMENT

On obtient 58 % de sagou à partir de la farine brute.

SORGHO

Poaceae — **Sorghum**
Sorghum bicolor (L. Moench) — **Sorgo, Zahima**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le sorgho est surtout cultivé pour son grain qui est utilisé pour l'alimentation de l'homme (bouillies, semoule, etc...) et pour l'alimentation du bétail (volailles, bovins, ovins et porcins). Il s'agit du **sorgho à grain** ou « gros mil ».

L'amidon contenu dans les grains sert à préparer des colles, des adhésifs, du dextrose, etc. Les sous-produits intéressants sont l'huile et les aliments du bétail.

Les fibres des tiges servent à faire des panneaux utilisés dans la construction.

Les grains fermentés servent à la préparation d'un alcool (bière) (cf.le dolo des Bambara).

On peut faire pâturer les animaux dans les champs de sorgho, après la récolte, à condition qu'il n'y ait pas de repousses (qui contiennent de l'acide cyanhydrique en trop grande quantité) susceptibles d'empoisonner les bêtes.

On peut parfois utiliser le sorgho comme engrais vert.

En outre, certains sorghos sont spécialisés pour quelques productions secondaires :

La hampe, dépouillée de ses grains, des **sorghos à balais** sert à faire des balais durs que l'on appelle balais en « **paille de riz** ».

La moelle sucrée des **sorghos sucrés** sert à l'obtention de sucre.

La gaine des feuilles, les glumes et la moelle rouge des **sorghos tinctoriaux** donnent des pigments qui sont utilisés comme teintures.

Les feuilles des **sorghos fourragers** sont utilisées comme fourrage.

Les tiges des **sorghos papetiers** sont utilisées comme matière première pour la fabrication du papier, etc.

2. BOTANIQUE (voir « Graminées Alimentaires » pages 646-647).

2.1. Classification générale et variétés

Originaire d'Afrique cette espèce est actuellement répandue dans l'ensemble de la zone intertropicale et déborde largement dans les régions tempérées.

Les très nombreuses variétés existantes ont fait l'objet de diverses classifications.

La classification de Harlan et De Wet reprise par l'IBPGR distingue cinq races principales et dix races intermédiaires sur les caractéristiques de l'épillet et de la panicule :

a) Les ***guinea*** sont les sorghos typiques d'Afrique de l'Ouest ; la panicule est lâche et porte des épillets dont les glumes généralement baillantes renferment un grain symétrique. Trois types peuvent être distingués :

— glumes très ouvertes à maturité, petits grains très durs : ***S. margaritiferum,***

— glumes semi-ouvertes à maturité, grains vitreux : ***S. gambicum*** : tiemarifing du Mali,
— glumes semi-ouvertes à maturité, grains peu vitreux : ***S. guineense.***

Ce sont des sorghos de grande taille généralement photosensibles.

b) Les ***durra*** se retrouvent essentiellement en Afrique de l'Est et en Inde ; leur panicule très compacte est généralement portée par un pédoncule crossé ; les glumes sont petites et collées sur un grain globuleux.

c) Les ***caudatum*** sont surtout cultivés en Afrique Centrale et en Afrique de l'Est ; ils sont caractérisés par un grain dissymétrique, aplati sur la face ventrale ; la forme de la panicule peut être très variable.

d) Les ***kafir*** sont surtout répandus en Afrique du Sud ; le grain est symétrique et les glumes de taille variable ; la panicule est relativement compacte. Ce sont des sorghos de petite taille.

e) Les ***bicolor*** se retrouvent dans toute l'Afrique, mais sont surtout répandus en Asie ; ce sont les sorghos aux caractères les plus primitifs : la panicule est très lâche et le grain petit est entièrement couvert par des glumes de grande taille et fermées.

f) Les dix races intermédiaires présentent des combinaisons de caractères empruntés à plusieurs races principales.

Pour mesurer la vitrosité du grain on emploie l'échelle BONO. Le grain est coupé suivant un axe longitudinal ; plus la surface translucide est étendue, plus la vitrosité est élevée.

Parmi les caractères permettant de distinguer les types variétaux, on peut citer la couleur du grain (blanc ivoire, blanc mat, jaune, rouge clair, rouge foncé, brun, violacé...) la forme du grain, la couleur des glumes (noir,jaune paille, brun, rouge), la durée du cycle végétatif (90 à 200 jours).

Il existe un grand nombre de variétés locales étroitement adaptées à leur aire de culture.

2.2. Amélioration variétale

Le sorgho est un espèce autogame ; il est donc possible d'utiliser un matériel **génétiquement fixé**. C'est l'objectif prioritaire des recherches actuelles : la vulgarisation de variétés fixées ne suscite pas de difficulté technique particulière : seules les précautions habituelles en matière d'isolement doivent être prises.

L'obtention de formes hybrides à utiliser en première génération, est également un des buts des sélectionneurs, à échéance plus lointaine. Il est possible de créer de tels hybrides, grâce à l'utilisation de la stérilité mâle génocytoplasmique.

Les objectifs de la sélection sont les suivants :

— Au point de vue morphologique :
- taille courte voisine de 2 m,
- tallage modéré,
- feuilles érigées, épaisses, peu nombreuses,
- panicule assez lâche, avec une bonne exsertion,
- un rapport grain/paille élevé.

— Au point de vue physiologique :
  • bonne adaptation au milieu et notamment au climat (durée du cycle). Bonne vigueur à la levée ;
  • résistance aux insectes (borers, mouche de la tige, cecydomyie) aux maladies et au **Striga** ;
  • grain adapté au goût du consommateur ou aux usages industriels prévus.

Parmi les principales variétés disponibles ou en cours de sélection on peut citer :

— des variétés locales ou introduites et, parmi les plus remarquables : 137-62 (Niger), 51-69 (Sénégal), S 29 (Burkina Faso), Tiemari Fing au Mali ;
— des lignées pures obtenues par croisement entre les variétés locales et des souches introduites. Parmi celles-ci on citera pour la culture intensive ou semi-intensive :

Cycle végétatif compris entre 90-100 jours	Cycle végétatif compris entre 100-120 jours	Cycle végétatif supérieur à 120 jours
IRAT 202 IRAT 204 (1) IRAT 205	IRAT 9 IRAT 10 IRAT 11 IRAT 277 lignée 75-14 (2) FRAMIDA (3) ICSV 1002 E 35-1	IRAT 16 IRAT 174

(1) Lignée intéressante pour la culture sous-irrigation de saison des pluies.
(2) Lignée intéressante pour la culture sous-irrigation en saison froide.
(3) Lignée tolérante au **Striga**.

On notera que parfois en culture traditionnelle (cultures associées) les lignées modernes ont quelque mal à concurrencer les variétés locales ;

— des variétés hybrides (à exploiter en 1re génération) dans le cadre de systèmes de culture très intensifs. Des hybrides sont maintenant utilisés en Inde. En Afrique ont été évalués des hybrides venant du continent américain ou de pays européens, tels : NK 300, Argence et Aralba. Toutefois une création variétale d'hybrides est conduite au Sénégal et au Burkina Faso avec des lignées mâles stériles A introduites ou créées sur place et des lignées R restauratrices de la fertilité mises au point par la Recherche Agronomique. On citera notamment les hybrides F1 suivants :

	Cycle végétatif compris entre 90-100 jours	Cycle végétatif compris entre 100-120 jours
Culture pluviale et irriguée	IRAT 179 IRAT 325	
Culture irriguée	IRAT 180 (hivernage)	IRAT 181 (saison froide)

3. ÉCOLOGIE

3.1. Climat

De nombreuses variétés africaines sont photosensibles et sont dites « de jours courts » : elles épient lorsque la durée du jour raccourcit et devient inférieure à une valeur limite. C'est notamment le cas de certains sorghos de la race ***caudatum*** et surtout des variétés de grande taille, de la race ***guinea*** : en un lieu donné la date de l'épiaison est à peu près fixe, et peu dépendante de la date du semis. Plus le semis est réalisé tôt, plus la durée du cycle végétatif est longue.

En un lieu donné, les différences de rendement observées entre plusieurs variétés sont liées à la date d'épiaison. Il existe une date optimale en chaque point de l'aire de culture, se situant vers la fin de la saison des pluies, ce qui contribue à expliquer l'existence d'un grand nombre de variétés locales et leur étroite adaptation. Le mécanisme photopériodique n'est pas simple et n'est pas entièrement élucidé.

Les besoins en eau du sorgho sont très inférieurs à ceux du maïs ; globalement, on estime aux États-Unis (avec des variétés naines) que le maïs exige par rapport au sorgho un supplément d'eau de 20 % pour produire un kg de matière sèche. A ce point de vue, la supériorité du sorgho sur le maïs consiste surtout en une meilleure aptitude à supporter les périodes de sécheresse, surtout aux premiers stades de son développement végétatif. La consommation totale d'une culture pluviale de sorgho a été mesurée :

— 550 mm (Niger),

— 550 à 600 mm (sud des États-Unis)

La période critique pour l'alimentation hydrique du sorgho se situe de la fin du tallage à la fin de la floraison : l'évapotranspiration maximale de la plante est alors égale à l'évapotranspiration potentielle. Tout déficit en eau à cette époque entraîne une baisse de rendement.

3.2. Sols

Le sorgho est cultivé dans des types de sols assez variés généralement plus argileux que ceux réservés au mil. Il est très sensible aux excès d'humidité et doit être réservé à des sols bien drainés. Dans les régions sèches, le sorgho se comporte bien dans certains sols argileux de bas-fonds ayant une bonne capacité de rétention : c'est par exemple le cas des goulbis au Niger, des sols vertiques du nord du Cameroun, des sols alluviaux de la vallée des fleuves Sénégal et Niger...

4. CULTURE

4.1. Culture de décrue et de bas-fonds

Certaines cultures de sorgho sont réalisées dans des conditions particulières, sur des sols bien alimentés en eau en saison sèche :

— en décrue (vallée du Niger et du Sénégal) ;

— sur des sols très argileux (bassin Tchadien). Faites à cheval sur la saison des pluies et la saison sèche, ou exclusivement en saison sèche, ces cultures sont mises en place suivant des modalités (semis, repiquage) et à des époques dépendant du régime hydrique (vitesse de la décrue, crue prématurée). Les variétés utilisées sont très spécialisées : (races **kafir** et **durra**), et parfois peu sensibles au photo-périodisme (sorgho Babouri du Nord Cameroun). De telles cultures se rencontrent jusque dans les régions sahéliennes recevant moins de 400 mm de pluies annuelles.

4.2. Culture pluviale

4.2.1. TECHNIQUES CULTURALES

Le sorgho se prête bien à la culture attelée et mécanisée.

Le **labour** est très important, on observe une augmentation de rendement entraînée par l'emploi de cette technique.

La date de semis doit être précoce ce qui permet d'augmenter la durée du cycle végétatif, l'épiaison ayant lieu à date fixe ; de plus les sorghos semés tardivement sont beaucoup plus attaqués par les parasites, et notamment par la « mouche » des pousses (*Atherigona soccata*).

Les semences doivent être désinfectées avec un produit renfermant 50 % de Thirame et 25 % d'insecticide à raison de 300 g de mélange pour 100 kg de semence. Dans toute la mesure du possible on utilisera des semences non parasitées (produites par exemple en saison sèche sous irrigation).

Traditionnellement, le sorgho est semé à 2 cm de profondeur en poquets de 5 à 6 grains, il est donc nécessaire de démarier (3 plantes par poquets).

Divers écartements sont préconisés (densité 10 000 à 25 000 poquets/hectare) :

— au Sénégal : 1 x 0,50 m ;
— au Burkina Faso : 0,80 x 0,40 m ou 0,60 x 0,60 m ;
— dans le Nord Nigeria : 0,90 x 0,30 m.

La quantité de semences nécessaires est de l'ordre de 4 à 8 kg/ha.

Pour les variétés de taille courte (2 m environ), les écartements sont en général plus serrés (en bonnes conditions d'alimentation en eau) par ex. : 0,80 x 0,30 à 3 brins par poquet, soit 125 000 plantes par hectare. En culture irriguée on utilise des densités de peuplement plus élevées (60 x 15), soit 110 000 poquets et 330 000 pieds/ha.

La culture en ligne et à plat permettant un sarclage précoce et rapide (culture attelée) représente un facteur important de réussite.

— **Sarclages-binages** : le premier 10 jours environ après la levée (conservation de l'eau du sol et destruction des adventices). Le second 3 semaines après le semis, combiné avec un éclaircissage à trois pieds, et parfois le remplacement des manquants par repiquage de plants prélevés sur les touffes les plus pourvues. Un troisième binage est souhaitable pour les variétés tardives (conservation de l'eau). Ces soins exigent de 25 à 40 jt/ha.

Deux ou trois sarclages sont généralement suffisants.

— **Récolte** : lorsque les grains sont mûrs (tiges et feuilles desséchées) mais sans tarder (attaques des oiseaux et de parasites). Les graines sont séparées de l'épi par battage puis vannées.

4.2.2. FUMURE

L'azote est le pivot de la fumure du sorgho : au Sénégal, la quantité de cet élément mobilisée pour produire 10 quintaux de grain est d'environ 33 kg (le taux de mobilisation maximum est de 2,2, kg/ha jour). Comme pour le mil, un type variétal à paille courte valoriserait mieux l'azote.

Les quantités d'éléments fertilisants exportées avec les parties aériennes de la plante dépendent du niveau de production et des conditions de culture. On peut admettre les ordres de grandeur suivants :

	Exportations, en kg, pour 100 kg de grain
Azote	2,9 à 3,7
Acide phosphorique	0,7 à 1,3
Potasse	1,7 à 3,8

La fumure minérale ne constitue pas un thème d'amélioration isolé ; elle doit être associée à de bonnes techniques culturales, au traitement fongicide des semences... Dans plusieurs régions, le coût élevé des engrais fait qu'il est réservé aux cultures industrielles. Le sorgho ne bénéficie alors que de son arrière-effet.

Le système de fumure doit être conçu en fonction de ce précédent, le sorgho recevant une fumure complémentaire tenant compte des engrais fournis à la culture industrielle. C'est par exemple le cas au Mali et au Burkina Faso, où l'arrière-effet du phosphore fourni au coton se fait sentir sur le sorgho semé l'année suivante ; dans ce cas, on peut concevoir pour la céréale une formule à dominante azotée et apportant 25 à 50 kg d'azote/ha.

4.2.3. SUCCESSIONS CULTURALES

Compte tenu des impératifs économiques du système de fumure on recommande en général de placer le sorgho après une culture de rente. Cependant, lorsqu'un labour d'enfouissement de jachère, en fin de saison des pluies a été réalisé, on constate au Sénégal qu'une céréale profite mieux de cette situation que l'arachide; dans ce cas, la succession jachère enfouie-céréale-arachide est à préconiser. D'une façon générale, il faut s'efforcer de placer les céréales derrière une plante permettant de réaliser un labour après culture.

La succession sorgho sur sorgho pose des problèmes en terrain sableux et en l'absence de pluies parasites. Des toxines émises dans ce sol ont une durée de vie limitée. Un semis légèrement décalé permet leur élimination.

4.2.4. RENDEMENT

Pour les variétés du groupe *guineensia* :

— culture traditionnelle : 6 à 8 q/ha ;
— culture améliorée en ligne avec labour : 10 à 12 q ;
— derrière culture de rente fumée et avec un léger apport d'azote : 15 à 20 quintaux. Pour les variétés de type kafir-*caudatum* en pluvial 30 quintaux et 50 quintaux en irrigué.

5. ENNEMIS DU SORGHO

5.1. Les maladies

Les maladies les plus importantes concernent les panicules.

a) **Maladies observées sur les panicules :**

— **Charbons** :
- charbon couvert (***Sphacelotheca sorghi***) : combattu efficacement par la désinfection des semences au thirame (100 à 150 g de matière active par quintal de semences) ;
- charbon nu (***Sphacelotheca cruenta***) : cette maladie est moins répandue que la précédente (désinfecter les semences) ;
- charbon de la panicule (***Sphacelotheca reiliana***) ;
- charbon allongé (***Tolyposporium ehrenbergii***) ;
- ergot (***Sphacelia sorghi***).

— **Moisissures des graines** :

Ces moisissures sont nombreuses (*Fusarium, Curvularia*) et sont favorisées par l'humidité, on les observe donc sur des variétés à maturité précoce, ou en année pluvieuse ; la compacité de la panicule est un facteur favorisant. Pour les combattre, il faut utiliser des variétés bien adaptées (mûrissant après l'arrêt des pluies) ou résistantes.

b) **Maladies non spécifiques des panicules** :

— **Mildiou : (*Sclerospora sorghi*)**
- les plantes atteintes restent naines ; les feuilles sont striées, se dessèchent et se décolorent (actuellement encore très localisé dans l'Ouest africain).

— **Maladie des bandes de suie : (*Ramulispora sorghi*)**
- grandes macules sur les feuilles ; (important en situation humide).

Un grand nombre de maladies moins importantes est rencontré, affectant notamment les feuilles. Il existe aussi plusieurs bactérioses (maladie des **stries** bactériennes).

5.2. Insectes et parasites animaux

Au point de vue économique, les dégâts les plus importants sont causés par :

— **la Cécidomyie (*Contarinia sorghicoia*)** ; cet insecte est souvent responsable de la faible production des sorghos tardifs; les dégâts se manifestent par l'absence de grain. La méthode de lutte la plus économique consiste à utiliser des variétés ayant une floraison groupée et surtout à éviter de cultiver côte à côte des variétés ayant une période de floraison différente (par exemple le sorgho rouge à bière et le sorgho blanc tardif) ;

— **la mouche des pousses (*Atherigona soccata* et espèces voisines)** ; cet insecte provoque la destruction des jeunes tiges. Les semis tardifs sont les plus attaqués. Il existe des différences variétales de sensibilité ;

— **les borers;** ces insectes sont moins importants pour le sorgho que pour le mil. Les principaux sont:
- ***Busseoia fusca.***
- ***Eldana saccharina.***
- ***Sesamia* spp.**

- ***Acigona ignefusalis.***
- ***Chilo partellus.***

Les panicules compactes de certaines variétés subissent parfois d'importants dégâts de chenilles mineuses.

On peut encore citer :

- les pucerons
- des punaises (*Dysdercus*)
- les oiseaux granivores
- les criquets.

A la germination, on observe parfois des dégâts très importants dus aux iules, entre le semis et la levée ; en cas d'infestation, il est nécessaire de traiter le sol avec un insecticide.

En cours de conservation le sorgho est soumis aux attaques des insectes classiques des denrées stockées ; les variétés à grain vitreux sont moins parasitées. Le poudrage au Lindane est efficace (rémanence 3 mois). L'emploi de sacs de matière plastique, en présence d'un fumigant (tétrachlorure de carbone), est recommandé au niveau de stockage paysannal.

Etant généralement récolté à la fin de la saison des pluies ou au début de la saison sèche, le sorgho ne pose pas de problèmes spéciaux de séchage, ce qui en facilite le stockage et la conservation.

5.3. Les mauvaises herbes :

Aux États-Unis, les principaux produits herbicides utilisés sont notamment :
— l'atrazine (pré-levée, ou surtout post-levée lorsque le sorgho est au stade 2-3 feuilles à 2 ou 3 kg de m.a./ha).

Cependant, en sols légers, en Afrique de l'Ouest, l'atrazine peut être fortement toxique pour le sorgho.

On s'achemine vers l'emploi de mélanges ternaires (propazine + simazine + paraquat) mais ces formules doivent être vérifiées.

Comme pour le mil, le striga constitue un des problèmes les plus préoccupants. Aucune parade efficace n'est encore au point sinon l'élimination par arrachage des plantes parasites avant floraison afin de diminuer le stock de graines du parasite dans le sol et l'alternance de cultures pièges (arachide). Divers herbicides sont actuellement expérimentés en Afrique. L'amétryne peut être utilisée en traitement dirigé contre des plantes de striga.

6. TECHNOLOGIE

6.1. Le sorgho (à grain)

Lorsqu'il est destiné à l'alimentation humaine, le sorgho est généralement décortiqué et réduit en farine ou semoule consommée sous diverses formes : bouillie, boule, couscous. On utilise de préférence les sorghos blancs pour ces usages. Les sorghos rouges servent surtout pour la fabrication de la bière (10 % de la production sont destinés à cet usage ; dans certains cas, le sorgho à bière est considéré comme une véritable culture commerciale).

Les caractéristiques morphologiques du grain sont les suivantes :
- longueur : 3,5 à 5 mm,
- largeur : 2,5 à 4,5 mm,
- poids de 1 000 grains : 10 à 30 g.

La composition physique est voisine de celle des autres céréales :
- enveloppes : 7 à 12 % du poids du grain,
- albumen : 82 %,
- germe : 7 à 12 %.

Entre l'enveloppe (péricarpe) externe et la couche périphérique de l'endosperme riche en protéines (couche à aleurone) certaines variétés possèdent une couche pigmentée (testa) riche en tanins qui donnent couleur et astringence aux produits de mouture. La présence de tanins diminue la digestibilité des protéines. Les sorghos riches en tanins résistent mieux aux prédateurs et sont généralement plus farineux, les sorghos blancs étant plus vitreux.

La composition biochimique du grain dépend de la variété et des lieux de culture ; les valeurs moyennes sont :
- protéines : 11 - 12 %,
- lipides : 3 - 4 %,
- cendres : 1,5 - 2 %,
- glucides : 75 %.

L'amidon contient 20 à 30 % d'amylose. Plus riche en protéines et plus pauvre en matières grasses que le maïs, le sorgho manque aussi de carotène.

L'aptitude au décorticage du sorgho dépend de sa dureté. Il existe une certaine corrélation entre dureté et vitrosité des graines. Une méthode de mesure de la dureté consiste à calculer un indice de dimension des particules après mouture (PSI, Particle Size Index) qui est le pourcentage de produits de mouture passant au travers d'un tamis à ouverture de mailles définie. Les grains durs produisant de plus grosses particules auront de faibles valeurs de PSI. La valeur du PSI dépend du type de broyeur et de tamis utilisés.

Certains types de sorghos sont destinés à des usages très particuliers :
— sorghos teinturiers (race *caudatum*), fournissant une matière colorante de couleur rouge.
— sorghos sucrés.
— sorghos à balais.

6.2. Le sorgho fourrager

Le sorgho peut être cultivé pour être récolté en vert : comme le mil, il est alors semé en lignes continues, écartées de 0,50 m (Centre Sénégal), ou à la volée. Les espèces et hybrides utilisables pour ce type de culture sont nombreuses :
— *Sorghum halepense* (L.) Pers. et l'hybride rhizomateux
S. X *almum Parodi* (S. bicolor (L.) Moench x S. *halepense* (L.) Pers.)
— Sorghum bicolor (L.) Moench
bas : *Holcus bicolor* L. ; syn. : *H. saccharatus* L., nom. conf. ; *S. vulgare* Pers. nom. superfl.
— *Sorghum* X *drummondii* (Stend.) Milbop et Chase
syn. : S. bicolor subsp. drummondii (Stend.) De Wet dont un dérivé est bien connu sous le binôme de *S. sudanense* (Piper) Stapf (Sudan Grass).

Attention, ces espèces peuvent se naturaliser et devenir des adventices.

Pour plus de détails on consultera :

— De Wet, Amer. Journ. Bot., 65 : 477-484, 1978.

— Harlan et De Wet, Crop science, 12 : 172-176, 1972.

Les 28 espèces de sorghum reconnues par Snowden en 1936 (the cultivated races of sorghum) sont maintenant considérées comme des cultivars.

En fourrage, les sorghos sucrés peuvent donner 40 à 50 t de fourrage en vert (7 à 9 en sec) d'une qualité supérieure à celle du maïs. Le *Sorghum sudanense* donne des rendements moitié moindres ; la qualité est nettement inférieure ; il résiste à la sécheresse mieux que le maïs.

L'ensilage est la méthode de conservation la plus rationnelle à condition de récolter au stade « début pâteux du grain ».

Les parties vertes en cours de croissance contiennent un générateur d'acide cyanhydrique, la dhurrine, qui présente un certain danger, en particulier pour les ruminants. Ce risque n'existe que pour des plantes coupées précocement (fanage) : l'ensilage est réalisé avec des plantes âgées et ne présente pas de danger. La teneur en H.C.N. varie avec les types variétaux.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux :

• Niger (culture manuelle) (jt/ha)

— Préparation du sol	5
— Semis	2-3
— Sarclages	40
— Récolte	15-20
— Transport	14
— Battage-Vannage	25-30
TOTAL	101-112

• U.S.A. (culture mécanisée)

Pour un ha	Homme	Heure de tracteur
— Préparation du sol	0,25	2
— Semis	0,25	1
— Entretien	1,25	5
— Récolte	2	2
— Conditionnement	3,25	10
TOTAL	7	20

7.2. Production en 1986

	Production en 1 000 t	Rendement en kg/ha	Surface en 1 000 ha
Afrique	12 113	705	17 182
Amérique du Nord et centr.	29 253	3 716	7 871
Amérique du Sud	6 139	2 827	2 172
Asie	19 524	1 048	18 638
Reste du monde	1 872	—	1 039
Monde	68 901	1 469	46 902

Principaux pays producteurs

Rang	Pays	Production en 1 000 t	Rendement en kg/ha	Surface en 1 000 ha
1	États-Unis	22 543*	4 125	5 465
2	Inde	11 000*	733	15 000 F
3	Chine	7 038 F	3 511	2 005 F
4	Mexique	6 000 F	3 158	1 900 F
5	Argentine	4 200*	3 231	1 300*
6	Nigeria	3 800*	633	6 000 F
7	Soudan	2 600 F	596	4 360 F

F = Estimation FA.O.
* = Données non officielles.

TARO

Aracée **Cocoyam**
Colocasia* et *Xanthosoma **Taro, maianga**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le taro est cultivé pour ses tubercules qui s'utilisent de la même façon que les pommes de terre. On les consomme cuits, bouillis ou frits.

2. BOTANIQUE

2.1. Origine et variétés

Le domaine initial du Taro semble avoir été l'Extrême-Orient.
Le nom de « taro » vient de Polynésie, où le taro constitue la base de

l'alimentation indigène, au même titre que le manioc dans les autres pays tropicaux.

Les taros se classent en deux genres différents :

— ***Colocasia antiquorum***, originaire d'Inde ou du Japon, appelé Taro de Chine ou Dasheen par les Anglais. Le pétiole s'insère au tiers inférieur du limbe.

— ***Xanthosoma sagitifolium***, originaire d'Amérique, appelé Chou caraïbe ou Macabo au Cameroun. Le pétiole est placé dans le prolongement de la nervure centrale

2.2. Caractères

Ces deux genres présentent des caractères comparables tant au point de vue morphologique qu'écologique.

Ce sont des plantes rhizomateuses à tubercules, parfois riches en oxalate de calcium. Il existe deux sortes de tubercules : la souche principale (Mammy des Américains) de 250 g à 4 kg, et les petits tubercules latéraux (tubbers) de 25 g à 250 g.

Il existe plusieurs variétés distinctes suivant leur taille ou la couleur des tubercules.

D'une manière générale, les *Xanthosoma* sont plus grands, plus hâtifs et plus productifs que les *Colocasia*.

3. ÉCOLOGIE

Ce sont essentiellement des plantes de zone équatoriale humide, vivant à l'ombre ou à mi-ombre, en situation abritée, sans écarts brusques de température. Elles sont très sensibles à la sécheresse.

Pluviométrie de l'ordre de 2 000 mm, (moins dans les bas-fonds).

Température moyenne : 20 à 25° C.

Latitude et altitude faibles (en dessous de 1 000 m et de 10° latitude Nord ou Sud).

Les sols convenables pour les taros sont très humides, légers, frais, riches en bases échangeables ; ces plantes supportent une nappe phréatique élevée.

4. CULTURE

Les taros sont cultivés traditionnellement en culture de case, ou en mélange avec des bananiers, parfois en intercalaire dans des jeunes cacaoyers ou caféiers. Cette dernière méthode est à déconseiller.

Aux îles Hawaï sa culture est mécanisée, notamment la récolte.

4.1. Multiplication

La plantation doit être faite en début de saison des pluies dans des trous de 5 à 10 cm de profondeur : la partie supérieure du semenceau portant des bourgeons doit dépasser le niveau du sol (risques de pourriture), mais on la recouvre de paille pour éviter les brûlures du soleil. On utilise comme semenceaux :

— soit des boutures de tiges aériennes (*Xanthosoma*),
— soit le sommet du tubercule principal incluant le bourgeon central,
— soit les petits tubercules secondaires ou les jeunes plants qui en sont issus.

Poids des semenceaux pour 1 ha : 1,5 à 2 t pour *Colocasia* et 2 à 3 t pour *Xanthosoma*.

Au Cameroun (Dschang), les densités de plantation ayant donné les meilleurs rendements sont les suivantes :
— Taro : 1 x 0,5 m soit 20 000 pieds/ha.
— *Xanthosoma* : 1 x 1 m soit 10 000 pieds/ha.

4.2. Entretien

L'entretien se réduit à un sarclage en début de végétation : les taros couvrent bien le sol. Les principales sources de pertes de récolte sont l'insolation exagérée, les rouilles et les termites.

4.3. Récolte

La récolte peut s'effectuer dès que les feuilles les plus âgées dépérissent : 3 mois après la plantation pour le *Xanthosoma*, 6 à 7 mois après pour les *Colocasia*. Mais des récoltes plus tardives donnent des tubercules plus développés.

On constate fréquemment des rendements de l'ordre de 8 à 15 t/ha (5 000 tubercules). On a noté des rendements de 35 t/ha avec le *Xanthosoma*, plus productif (150 % par rapport au *Colocasia*).

La conservation est délicate, elle pose les mêmes problèmes que celle de l'igname et de la patate douce.

Composition et valeur alimentaire

Eau	62,7 %
Glucides totaux	29,8 %
Cellulose	0,7 %
Lipides	0,2 %
Protéines	3,0 %
Cendres	1,3 %

Plus riche en matière sèche que pommes de terre et patate douce. Teneur en protéine assez élevée. Bonne digestibilité des glucides.

5. DONNÉES STATISTIQUES

Temps de travaux (jt/ha) :

Préparation du sol	20- 30
Plantation	6- 10
Entretien	25- 35
Récolte	30- 40
TOTAL	81-115

Autres plantes à Caoutchouc
Hévéa Guayule

HÉVÉA

Euphorbiacée **Hevea, Para rubber**
Hevea brasiliensis **Caucho, Goma**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le caoutchouc (mot provenant d'un vocable indien signifiant « larme de bois ») est une des matières premières les plus utilisées dans la vie moderne. Il intervient dans un très grand nombre d'articles courants, notamment les pneumatiques d'automobiles, qui consomment environ 65 % de la production mondiale (naturel et synthétique), ainsi que d'articles de haute technologie.

Le caoutchouc naturel se trouve dans le latex de certaines plantes douées de la fonction laticigène, dont il existe un grand nombre appartenant à des familles botaniques très diverses des pays tempérés et tropicaux. Toutes ces plantes à latex ne contiennent pas de caoutchouc, mais le caoutchouc n'est présent que dans des plantes à latex.

Parmi les plantes à latex et à caoutchouc, l'hévéa, spécialement l'*Hevea brasiliensis*, est actuellement le seul cultivé comme producteur de caoutchouc, en raison de ses caractéristiques physiologiques et écologiques.

Le caoutchouc synthétique provient essentiellement du gaz naturel et des sous-produits pétroliers.

Caoutchouc naturel et caoutchouc synthétique après avoir été deux matières premières concurrentes tendent plutôt à être deux matières complémentaires surtout depuis la récente situation pétrolière mondiale.

2. BOTANIQUE

L'hévéa est originaire du bassin de l'Amazone.

Il a été introduit à la fin du XIX^{e} siècle en Extrême-Orient : Malaisie, Indonésie, Indochine, Philippines, Océanie et plus récemment en Afrique.

2.1. Description

A l'état spontané, l'hévéa est un grand arbre de forêt pouvant atteindre 25-30 m de haut. Son tronc est droit, légèrement renflé à la base, avec une couronne foliaire assez étroite.

Fleurs unisexuées, petites, jaune clair, en grappes.

Feuilles à 3 folioles, longs pédoncules.

Fruits : capsules à 3 lobes et 3 graines oléagineuses, de la dimension d'une noix.

Bois : homogène, tendre, cassant, sensibilité variable suivant les clones aux dommages causés par le vent.

Système radiculaire à la fois pivotant et traçant.

L'hévéa est une essence de lumière.

Il peut vivre plus de 100 ans ; en plantation sa durée de vie économique est limitée à 35-40 ans, sa mise en exploitation commence suivant les clones, les techniques culturales et systèmes de saignée entre 4 et 6 ans après le « plantage ».

L'hévéa a un cycle annuel de végétation ; la défoliation ou hivernage de l'arbre s'effectue en saison sèche, elle a pour conséquence une baisse de sécrétion du latex.

L'hévéa secrète du latex dans des cellules spécialisées (vaisseaux laticifères) qui constituent des réseaux communicants, assurant ainsi, lors de la saignée, un abondant écoulement permettant l'exploitation continue.

Les vaisseaux laticifères sont localisés en particulier dans l'écorce du tronc qui est l'organe exploité par la saignée.

Le latex est une suspension de globules de caoutchouc dans un sérum aqueux. La proportion de caoutchouc dans le latex varie de 30 à 40 %.

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé en plantation comprend :

a) le matériel franc de pied, issu de graines, dénommé « seedlings ». Ce matériel est de moins en moins utilisé en raison de sa variabilité. Seuls les seedlings issus de graines sélectionnées sont utilisés dans des cas particuliers ;
b) le matériel greffé, dont les variétés sont appelées « clones de greffe » ou simplement « clones ».

Les Instituts de recherche spécialisés font paraître périodiquement les listes des matériels recommandés pour plantation. Pour l'Afrique, l'Institut de Recherches sur le Caoutchouc (I.R.C.A.) est à consulter.

3. ÉCOLOGIE

3.1. Climat

L'hévéa ne prospère qu'en climat équatorial ou tropical humide.

— **Température** moyenne annuelle de l'ordre de 25° C, avec des minima supérieurs à 15° C.
— **Pluviosité** moyenne annuelle minimum : 1 500 mm, s'il y a répartition régulière et sol à bonne capacité de rétention.
Les pluies matinales fréquentes sont défavorables car elles gênent ou empêchent la saignée, qui s'effectue le matin.
— **Ensoleillement** : les meilleurs résultats sont obtenus en région bien ensoleillées (minimum 1 500-1 800 heures/an).

— **Altitude**: inférieure à 600 mètres à l'équateur ; moins, dès qu'on s'élève un peu en latitude.
— **Vent** : les vents violents causent des dégâts considérables selon les clones plantés.

3.2. Sols

Relief : l'hévéa peut prospérer aussi bien en terrain plat qu'en terrain accidenté ; les terrains plats sont cependant à préférer du fait que l'établissement de la plantation et les travaux anti-érosion sont coûteux en terrain accidenté ; l'exploitation y est plus difficile qu'en terrain plat.

Profondeur : l'hévéa demande des sols profonds en raison de l'importance de son pivot ; les sols superficiels et hydromorphes sont à prohiber.

Structure : le sol doit contenir au minimum 20 % d'argile près de la surface et 25 % à 50 cm de profondeur ; il doit être humifère et bien drainé.

pH: le pH optimum du sol pour l'hévéa se situe entre 4,5 et 5,5.

Caractéristiques chimiques : l'hévéa présente la meilleure croissance et donne les meilleures productions en sols fertiles, bien pourvus en azote, bases échangeables (notamment potasse), phosphore et oligo-éléments. Cependant, les déficiences peuvent être corrigées, dans une certaine mesure, par des apports d'engrais, les caractéristiques physiques (profondeur du sol et structure) ayant plus d'importance que la richesse chimique.

4. CULTURE

4.1. Conditions économiques et sociales

L'hévéa se prête aussi bien aux plantations industrielles qu'aux plantations villageoises (à condition qu'il y ait à proximité un centre de traitement de la production).

Une certaine quantité de main-d'œuvre est toujours nécessaire, mais elle tend à diminuer en fonction des nouvelles techniques d'exploitation.

La nécessité de traiter le latex sur les lieux de production et la dimension économique des usines de traitement font que — sauf conditions villageoises particulières — un minimum de 1 500 à 2 000 ha de plantation est nécessaire. Pour un bon écoulement de la production vers l'usine, puis de l'usine vers les points d'utilisation ou d'exportation, les voies de communication concernées doivent être praticables en toutes saisons.

Les plantations mixtes (hévéas en association avec d'autres cultures) ne sont envisageables que les deux ou trois premières années de plantation (sauf écartement important des lignes de plantations qui permettent des systèmes permanents d'associations culturales, dont l'intérêt est très discuté).

On ne doit planter que du matériel végétal de haute qualité et adapté au milieu. Les Instituts spécialisés fournissent toutes informations à cet égard.

4.2. Plantation

Le greffage étant la règle — bien que d'autres procédés de multiplication

végétative soient activement recherchés (cultures *in vitro*) — seules les techniques impliquées dans ce mode de plantation sont mentionnées ci-après.

4.2.1. OBTENTION DU MATÉRIEL VÉGÉTAL

Différentes techniques peuvent être utilisées. Chacune a ses avantages et ses inconvénients, on citera les trois grandes familles de techniques :

— pépinière de plein champ ;
— pépinière faite avec des sacs de polyéthylène (greffage en sac) ;
— graines ou plants mis en champ à l'emplacement définitif avec greffage sur place.

4.2.1.1. Obtention du bois de greffe

Cette obtention doit être la première préoccupation du planteur. Le bois de greffe est produit en jardin à bois, réalisé à partir de semis de graines à mettre en place 3 ans avant la date du plantage en champs (1 an avant l'établissement de la première pépinière).

Le semis est réalisé suivant la technique de l'établissement des pépinières décrite ci-après en poquet de 3 graines germées par emplacement (8 000 poquets à l'hectare, disposés à 1 x 1 m). Le greffage (voir ci-après) du meilleur plant par poquet s'effectue 1 an après le semis.

1 souche en jardin à bois donne 1 mètre de bois de greffe 1 an après le greffage et 2 à 3 mètres les années suivantes. 1 mètre de bois de greffe donne 10 greffons utilisables.

4.2.1.2. Pépinière

La pépinière est à établir en terrain plat, fertile, arrosable et défoncée à 70 cm de profondeur (à protéger, si nécessaire, des rongeurs).

Les graines sont mises à germer en germoir dès leur obtention, car elles perdent rapidement leur faculté germinative. Les graines germées sont transplantées en pépinières à raison de 80 000 à 100 000 à l'hectare. Les plants mal-venus sont éliminés par 2 éliminations (à 4 mois et à 10 mois) suivant le rythme de croissance (nombre d'étages foliaires présents à 4 mois et à 10 mois).

4.2.1.3. Greffage

L'âge du greffage dépend de la technique de plantation (greffe en vert ou en août) ; il se fait en écusson à œil dormant prélevé sur le bois de greffe. Les bourgeons situés à l'aisselle des feuilles du bois de greffe sont à utiliser de préférence pour le greffage en août.

4.2.1.4. Matériel végétal nécessaire pour le plantage de 1 ha

2 400 graines, 1 800 plants en pépinière, 1 250 plants greffables, 750 stumps greffés plantables (600 plantés et 25 % pour les remplacements).

125 mètres de bois de greffe pour 1 250 greffes à effectuer, soit 125 souches en jardin à bois.

4.3. Préparation du terrain

Les plantations industrielles d'hévéas étant établies en général en zone forestière, le terrain est préparé suivant les méthodes classiques d'abattage manuel ou mécanique, brûlage, nettoyage, piquetage, trouage, travaux antiérosion.

En conditions villageoises, la plantation s'effectue souvent sur vieille défriche dont il faut alors éliminer la végétation indésirable (*imperata eupatorium*...).

4.4. Plantage

Le plantage s'effectue au début de la saison des pluies. Les densités sont comprises entre 500 et 625 plants à l'hectare, les plants étant disposés en lignes, par exemple :

Densité	Écartement entre les lignes	Espacement des plants sur la ligne
510 plants/ha	7 mètres	2,80 mètres
550 plants/ha	7 mètres	2,60 mètres
625 plants/ha	8 mètres	2,00 mètres

Le plantage se fait dans des trous de plantation de 60 cm en tous sens. Les stumps doivent avoir 60 cm de long car plus courts ils ont un enracinement difficile. Bien tasser la terre autour du plant et effectuer les remplacements uniquement l'année du plantage.

4.5. Entretien

4.5.1. ENTRETIEN DES JEUNES PLANTATIONS
(jusqu'à la mise en saignée)

— **Couverture du sol** :
Indispensable contre l'érosion et la dégradation : légumineuses rampantes (*Centrosema pubescens, Pueraria phaseoloïdes, Calopogonium caeruleum*).
Parfois paillage en jeunes plantations.

— **Entretien des jeunes arbres** :
Ébourgeonnage pour avoir un tronc droit de 2,80 m à 3 m de haut.
Éventuellement, étêtage vers 3 m de hauteur s'ils tardent à former leur couronne.

— **Élimination** :
Au cours des années précédant la mise en saignée, passages successifs pour réduire la densité à l'ha à 450-500 arbres.
L'élimination se fait sur critères de croissance, voire de production précoce ; elle doit tenir compte des pertes par cause naturelle et des maladies, notamment des racines.

— **Entretien du sol**

L'hévéa supporte un certain taux d'enherbement du sol des lignes de plantation ; ce taux croît avec l'âge des arbres ; mais des lignes propres sont une incitation pour la main-d'œuvre à soigner les travaux.

On contrôle l'enherbement du sol :

• par sarclage ou fauchage ras, à la main ;
• par traitement aux herbicides suivant le programme ci-après.

La végétation de l'interligne est périodiquement rabattue ou contrôlée par application d'herbicides adaptés à la flore dominante.

PRÉCONISATIONS POUR L'ENTRETIEN DE L'HÉVÉA PAR HERBICIDES

Localisation	Précautions	Recommandations
Pépinières	Traitements à effectuer une semaine au moins avant semis sur sol léger uniquement.	Solution dans 300 litres d'eau Diuron : 1,6 kg/ha traité
Lignes plantées en graines	Traitements à effectuer de part et d'autre des jeunes hévéas, en deux passages.	Solution dans 300 litres d'eau MSMA 1,5 kg Paraquat 100 g/ha traité
Lignes de greffés, tronc non aoûté	Traitements à effectuer de part et d'autre des jeunes hévéas, en deux passages.	Solution dans 300 litres d'eau — Si dominante ***Pueraria phaseolides*** : MSMA 1 kg Pichlorame 15 g/ha traité — Si dominante graminées : MSMA 1 kg Paraquat 100 g/ha traité — Si flore équilibrée graminées/dicotylédones : MSMA 1 kg Diuron 1,6 kg/ha traité
Ligne de greffés, tronc aoûté	Traitements à effectuer de part et d'autre des jeunes hévéas, en deux passages.	Solution dans 300 litres d'eau — Dominante ***Paspalum conjugatum, Eleusine indica*** MSMA 2 kg Paraquat 300 g/ha traité — Dominante ***Eleusine indica, Imperata cylindrica*** Traité en alternance avec MSMA ou glyphosate 720 g/ha traité — Flore équilibrée graminées/dicotylédones MSMA 2 kg 2,4-D 600 g/ha traité — Dominante ***Pueraria phaseolides*** MSMA 2 kg Pichlorame 15 g/ha traité
Interlignes	Hévéa adulte à l'époque de l'hivernage, une fois par an.	Solution dans 300 litres d'eau MSMA 2 kg 2,4-D 2 kg/ha traité
Cas particuliers :		Solution dans 300 litres d'eau
Imperata cylindrica		Glyphosate 3 kg/ha traité Imazapyr 1 kg/ha traité
Chromolena odorata ***Ceupatorium***		mêmes produits à doses moitiés

4.5.2. ENTRETIEN DES PLANTATIONS ADULTES

La végétation herbacée étant réduite par le couvert des hévéas, on se limite :
— à maintenir propres les lignes de plantation par application d'herbicide ou fauchage 1 à 2 fois par an pour permettre la circulation ;
— à rabattre la végétation des interlignes ou à la maintenir par application d'herbicides ;
— à ramasser le « caoutchouc de terre » ;
— à entretenir des coupe-feu en saison sèche pour réduire les risques d'incendie.

4.6. Fumure

La nature et les doses d'engrais à épandre sont déterminées d'après les résultats du diagnostic foliaire, en référence avec les teneurs en pourcentage de la matière sèche établies pour des cultures en bon état végétatif : les feuilles sont à prélever mûres (4 à 5 mois d'âge) à l'ombre.

Teneurs de référence en % de la matière sèche et ppm, des feuilles prélevées de cultures en bon état végétatif.

N %	P %	K %	Mg %	Na ppm	Mn ppm	Fe ppm	Cu ppm	B ppm
3,4	0,22	1	0,40	90	250	150	18	50

Dans le jeune âge, l'épandage est à effectuer à la volée dans la zone comprise entre le pied de l'arbre et l'aplomb de la couronne foliaire ; pour les plantations adultes, l'épandage s'effectue sur toute la largeur de l'interligne (à la volée ou par engrais).

4.7. Récolte

La saignée (section des laticifères) permet au latex de s'écouler à l'extérieur par suite de la pression de celui-ci dans les laticifères. Quand la pression devient nulle au niveau de l'encoche, 3 à 4 heures après le début de la saignée, l'écoulement s'arrête.

Le choix du système de saignée est à arrêter en fonction du clone, de l'âge et de l'état physiologique des arbres, de la disponibilité en main-d'œuvre, des facteurs climatiques et socio-économiques.

Pour un clone donné, la quantité de latex récolté et sa teneur en caoutchouc sec varient avec :
— le système d'exploitation : longueur et profondeur de l'incision, fréquence de saignées ;
— l'âge de l'arbre : la production croît régulièrement, puis se stabilise pour décroître ensuite jusqu'au moment de l'abattage ;
— le régime hybrique de l'arbre : pression plus forte donc écoulement plus abondant en saison des pluies et tôt le matin ;
— le métabolisme de l'arbre et son état général (physiologique, sanitaire...)

L'exploitation de l'hévéa se fait de façon continue sur le même panneau d'écorce du tronc par ravivages successifs d'une incision inclinée en spirale de

gauche à droite (pour permettre l'écoulement plus facile du latex pour compenser l'inclinaison de droite à gauche des laticifères).

Par définition, le système de saignée en spirale sur la moitié de la circonférence du tronc tous les 2 jours (sans repos annuel), soit 180 saignées par an, a une intensité de 100 %. On écrit (codification internationale) : 1/2 S D/2 7D/7 12/12.

En cas d'arrêt de travail le dimanche, on écrira : 1/2 S D/2 6 D/7 12/12 (3 saignées en 1/2 S par semaine, sans repos annuel).

Une intensité de 100 % peut aussi être obtenue avec une spirale sur toute la circonférence du tronc, saignée tous les 4 jours (sans repos annuel), soit 90 saignées par an. On écrira : S D/4 7D/7 12/12.

Le système de plus en plus classique en demi-spirale deux fois par semaine (avec repos le dimanche) s'écrit : 1/2 S D/3 6D/7.

Depuis quelques années, on fait de plus en plus appel à la stimulation hormonale dans les systèmes de saignée (utilisation de l'éthrel, nom commercial de l'acide 2 — chloro Ethyl-phosphorique).

En ce qui concerne l'IRCA, en dehors d'application particulière, la stimulation est faite dans le but de maintenir un bon niveau de production en réduisant la main-d'œuvre nécessaire à la saignée. Ainsi, le système recommandé aujourd'hui par l'IRCA est la demi-spirale saignée 2 fois par semaine et stimulée à l'éthrel, 4 fois par an, avec une période de repos annuel. Mais des fréquences beaucoup plus réduites (1 saignée par semaine) ou des encoches encore raccourcies (1/4S) compensées par des stimulations plus intenses, sont déjà en expérimentation à grande échelle. On observe dans ces cas de légères réductions du rendement à l'ha ; par contre on améliore considérablement la productivité du saigneur.

La mise en saignée est décrétée selon des normes diverses mais qui répondent toutes à la double préoccupation d'avoir tôt de la production sans pour autant compromettre les productions futures ; par exemple quand 200 arbres/ha ont 50 cm de circonférence à 1 m du sol.

L'encoche est ouverte entre 1 m et 1,30 m du sol, inclinée de 30 à 35° sur l'horizontale (emploi d'un gabarit)

4.7.1. ÉQUIPEMENT POUR LA SAIGNÉE

— Par arbre :
- 1 tasse en terre cuite vernissée ou matière plastique de 500 à 1 000 cm^3 ; elle est placée sur un support en gros fil de fer soutenu par un collier en fil de fer mince avec une partie en ressort à boudin permettant la croissance,
- 1 gouttière en fer galvanisé fixée dans l'écorce à l'extrémité du canal vertical d'écoulement.

La récolte peut également être faite en sac de polyéthylène.

— Par saigneur :
- une gouge ou un couteau à tranchant bien aiguisé,
- une curette de tasse,
- un ou deux seaux de transport du latex, en fer galvanisé, de 30 à 35 l,
- un panier pour ramasser les caoutchoucs secondaires provenant du latex coagulé dans la tasse et sur l'arbre,

- une boîte contenant un produit de traitement pour enduire les blessures éventuelles.

4.7.2. ORGANISATION DE LA SAIGNÉE

La plantation est divisée en « alternances » ; par exemple :

— 2 dans le système D/2 6D/7 : saignées chacune 3 fois par semaine,

— 3 dans le système D/3 6D/7 : saignées chacune 2 fois par semaine.

La saignée a lieu, le matin le plus tôt possible, à la gouge ou au couteau par enlèvement d'une pellicule d'écorce de 1,5 mm de hauteur sur une profondeur aussi grande que possible mais sans atteindre le cambium.

Le ramassage a lieu 3 à 4 heures après ; le latex est transporté en seau jusqu'au centre de ramassage, filtré et transporté en citernes jusqu'à l'usine de traitement. Les fonds de tasse sont ramassés.

On peut également recueillir le latex dans des sacs en plastique, en le laissant se coaguler spontanément après la saignée (saignée cumulative ou récolte en « polybag »). Avec ce mode de récolte, le ramassage sous forme de caoutchouc solide, ne s'effectue que toutes les 6 ou 8 saignées, ce qui allège considérablement les travaux d'exploitation.

— **Tâche de saignée** : nombre d'arbres attribué à chaque saigneur ; en S/2 : de 450 à 550 arbres.

En saignée cumulative, les tâches de saignée peuvent être notablement augmentées.

— **Arrêts de saignée** : pendant le repos végétatif, c'est-à-dire pendant 1 à 2 mois. Si l'on tient compte des jours de congé, le nombre de saignées annuelles est de l'ordre de :

150 pour la fréquence D/2 6 D/7.

90 pour la fréquence D/3 6D/7.

— **Évolution du panneau** :

La consommation annuelle d'écorce est de l'ordre de 25 cm pour la saignée D/2 6D/7 et de 15 cm pour la saignée en D/3 6D/7. En 1/2 S D/2 6 D/7, un panneau ouvert à 1 m de haut est épuisé au bout de 4 ans (encoche au niveau du sol). On passe alors sur le panneau opposé.

Le temps de renouvellement de l'écorce doit être au minimum de l'ordre de 7-8 ans.

Un hévéa n'est exploitable que 3 cycles de suite sur le même panneau (1 cycle sur écorce vierge, 2 sur écorce reconstituée), donc pendant 24 ans environ.

Des systèmes spéciaux, saignée haute, saignée inversée, stimulation, permettent de prolonger de plusieurs années la durée d'exploitation, et surtout d'exploiter des écorces en état moyen plus satisfaisant.

4.8. Rendements

Si le rendement des anciennes plantations était de l'ordre de 500 kg par hectare et par an, la capacité des clones actuels, augmentée des possibilités de stimulation, atteint et dépasse 2 500 kg/an en période de croisière, ce qui représente une production moyenne de 2 tonnes/ha et par an de caoutchouc sur les 25 ans d'exploitation.

5. MALADIES ET ENNEMIS

— **Des racines** (pourridiés), essentiellement *Rigidoporus lignosus* (Fomes) en Afrique, sur terrains forestiers.
Lutte indirecte : abattage de la forêt suivi d'un essouchage.
Traitement (arbres malades et premier voisin sain de part et d'autre sur la ligne) : ouverture d'une cuvette au niveau du collet et application de produit de traitement pour réduire la propagation du champignon (calixin dans certaines conditions de milieu) ; extraction et destruction des souches des arbres morts.

— **Des feuilles** :
Helminthosporium heveae (surtout en pépinière, contrôle par applications répétées de Dithane M 45)
Colletotrichum sp.
Phytophthora palmivora | chutes des jeunes feuilles lors de la refoliation
Oïdium heveae
Microcyclus ulei - en Amérique tropicale - extrêmement grave, non encore exportée. **L'introduction directe de matériel végétal américain est strictement prohibée.**

— **Des branches** :
Corticium salmonicolor
Botryodiplodia theobromae (parasite de faiblesse).

— **Du tronc et du panneau de saignée** :
Phytophthora palmivora (raies noires)
et parasites secondaires (du genre *Phytium*) : surtout en saison humide
Lutte par passages périodiques préventifs d'enduits anti-fongiques (Difolatan, par exemple).

— L'ensemble des affections dit "brown bast" (brunissement de l'écorce et dessèchement de l'encoche) est très vraisemblablement d'ordre physiologique ; jusqu'à présent les mécanismes provoquant le phénomène sont mal connus.

6. TECHNOLOGIE

Pour pouvoir être commercialisé, le latex de caoutchouc naturel doit être traité dans l'usine de la plantation afin d'obtenir un matériau de bonne qualité technologique et utilisable en manufacture.

6.1. Les diverses formes de caoutchouc naturel

Le caoutchouc naturel se présente essentiellement sous trois formes :

— La forme classique en feuilles qui représente environ 45 % de la production mondiale en 1977. Elle se divise en deux catégories : les feuilles fumées (Ribbed Smoked Sheets - RSS) préparées essentiellement à partir de latex frais récolté en tasses, et les crêpes, préparés soit à partir de latex frais (crêpe pâle) soit à partir de caoutchouc de coagulants divers (crêpes bruns). La classification commerciale de ces feuilles se fait d'après des critères visuels.

— La forme, plus moderne, de caoutchouc granulé compacté en balles représente 45 % de la production mondiale. Ces caoutchoucs sont classés selon des spécifications techniques (teneurs en impuretés, en cendre, en azote, en matières volatiles, plasticité, indice de rétention de plasticité, couleur), conformément à la norme internationale ISO 2 000. Il est d'usage d'adjoindre à ces spécifications certaines caractéristiques technologiques spécifiques des caoutchoucs.

— Le latex concentré, vendu sous forme de liquide, qui occupe une part non négligeable sur le marché (7 % de la production mondiale).

6.2. Traitement du caoutchouc naturel en usine de plantation

6.2.1. OBTENTION DES CAOUTCHOUCS DE QUALITÉ SUPÉRIEURE

Le latex frais, récolté en tasses, permet d'obtenir, suivant le mode d'usinage retenu, soit des feuilles (feuilles fumées et crêpes pâles), soit des granulés compactés, soit du latex liquide concentré.

— **Feuilles fumées et crêpe pâle** :

On procède d'abord à la filtration du latex et à une dilution amenant sa teneur en caoutchouc à 12-20 %. Le mélange avec de l'acide formique dilué provoque la coagulation dans des récipients spéciaux permettant d'obtenir un coagulat en bande continue. Cette bande est essorée, laminée et découpée en feuilles de 1 mètre de long qui passent 4 à 5 jours dans un séchoir avec enfumage ; les feuilles fumées sont ensuite triées et mises en balles.

Le crêpe pâle est obtenu par coagulation du latex selon le même processus que pour la feuille fumée, mais en bande plus épaisse. Cette bande est passée dans une batterie de crêpeuses (machines constituées de deux cylindres cannelés tournant en sens inverse avec des vitesses différentes) ce qui a pour effet de profondément laver le caoutchouc. Les feuilles de crêpe sont alors séchées mais non fumées afin d'obtenir une couleur très claire.

— **Caoutchouc granulé** :

Le latex, non dilué, est coagulé à l'acide puis les coagulats sont introduits dans des granulateurs qui les transforment en une matière divisée (granulés). Cette augmentation du rapport surface/volume facilite le séchage qui a lieu dans des séchoirs à tabliers, à paniers ou à chariot, à des températures de 100 à 120° C et durant 3 à 4 heures. Les granulés séchés sont ensuite compactés en balles de 33,3 kg.

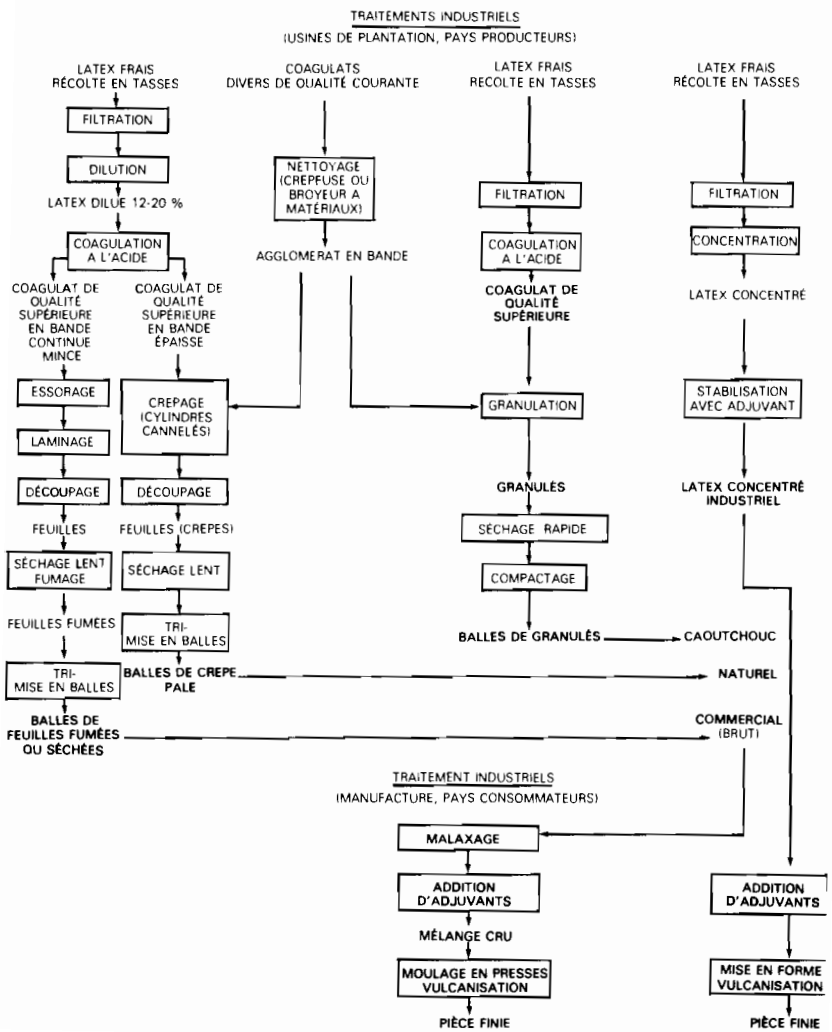
— **Latex concentré** :

Pour certaines fabrications industrielles, le caoutchouc est fourni sous forme de latex concentré liquide préparé par évaporation, crêmage ou centrifugation, cette technique étant maintenant pratiquement la seule utilisée. Le latex concentré, stabilisé par des adjuvants, doit contenir 60 % de caoutchouc.

6.2.2. OBTENTION DE CAOUTCHOUC DE QUALITÉ COURANTE

Ces caoutchoucs sont issus de coagulats en provenance de petits planteurs, coagulats usinés tardivement après leur coagulation, de fonds de tasses, de caoutchoucs d'écorce et de terre. Ils peuvent être usinés selon les deux méthodes précédemment décrites conduisant à l'obtention de feuilles ou de

HEVEA
SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



granulés compactés. Ils sont tout d'abord nettoyés par passage à la crêpeuse ou au broyeur à marteaux, agglomérés en bandes par crêpage (crêpes bruns) ou granulés puis séchés et mis en balles.

6.3. Mise en œuvre dans l'industrie

Les balles de caoutchouc brut fournies par les usines de plantations doivent subir un certain nombre de traitements en manufacture avant de conduire aux produits finis (pneumatiques, chaussures, tuyaux, joints, etc.).

Le caoutchouc naturel est tout d'abord malaxé, puis additionné de divers ingrédients lui conférant des propriétés mécaniques que la gomme crue ne possède pas. Citons, entre autres, le rôle du souffre qui permet de réaliser la vulcanisation (c'est-à-dire de créer des liaisons chimiques entre les molécules de caoutchouc et ainsi d'augmenter son élasticité et ses propriétés mécaniques) et le rôle des charges renforçantes (noir de carbone) qui améliorent certaines caractéristiques de l'objet fini.

Le mélange obtenu est alors moulé dans des presses chauffantes, opération qui confère à la pièce ses propriétés et caractéristiques dimensionnelles finales.

7. DONNÉES STATISTIQUES ET ÉCONOMIE

7.1. Temps de travaux

Les temps de travaux indiqués ci-dessous concernent une grande plantation industrielle utilisant :

— des engins mécaniques lourds pour la préparation du terrain ;
— des traitements herbicides pour le désherbage des lignes d'hévéas à partir de la deuxième année de plantation ;
— un système de récolte en tasse (latex).

Travaux agricoles

Années	Journées de main d'œuvre par hectare planté
– 2	10 à 15
– 1	40 à 45
0	90 à 100
1	30 à 35
2	20 à 25
3	20 à 25
4	20 à 25
5	20 à 25
6	45 à 50
7	60 à 65
8 et suite	70 à 75

Travaux d'usinage

Suivant les procédés de fabrication : 3 à 5 journées de main-d'œuvre par tonne de caoutchouc sec produit.

Ces temps de travaux ne comprennent pas l'encadrement ni les services généraux.

7.2. Économie

Le caoutchouc synthétique dérivé du pétrole a maintenant dépassé l'utilisation du caoutchouc naturel.

La part de l'utilisation des synthétiques dans le monde libre est passée d'un peu moins de 50 % en 1960 à 67 % en 1987. Cette tendance à la réduction de la part du caoutchouc naturel sur l'ensemble des élastomères consommés n'empêche pas une constante augmentation de la production totale.

Depuis 1980, la progression de la consommation du naturel a tendance à augmenter régulièrement et dépend de facteurs qui ne sont pas prévisibles à long terme :

— augmentation du coût de production du synthétique corrélativement à celui du pétrole ;
— abaissement du prix de revient du caoutchouc naturel par l'emploi de méthodes rationnelles d'exploitation (systèmes de saignée, stimulation) ;
— augmentation de la consommation de caoutchouc naturel par les pays producteurs ;
— régulation du marché mondial des matières premières par l'instauration de prix garantis.

PRODUCTION 1986 (en milliers de tonnes)

CAOUTCHOUC NATUREL		CAOUTCHOUC SYNTHÉTIQUE	
Malaisie	1 542	URSS	2 250
Indonésie	1 038	USA	2 145
Thailande	773	Japon	1 150
Inde	219	France	542
Chine	205	R.F.A.	453
Sri Lanka	138	Royaume-Uni	289
Philippines	89	Italie	235
Libéria	89	Hollande	209
Vietnam	60	Canada	187
Nigeria	55	Chine	186
Côte d'Ivoire	48	Roumanie	162
Cameroun	20	Mexique	148
Divers	154	Divers	1 254
Total	4 430	Total	9 210

GUAYULE

Composée — **Guayule**
Parthenium argentatum — **Guayule**

1. DESCRIPTION SOMMAIRE

Le guayule est une plante buissonnante, spontanée sur les hauts plateaux du nord du Mexique et du sud des U.S.A.

De la famille des Composées, il se présente sous la forme d'un arbuste de 50-60 cm de haut à l'âge adulte. Sa floraison débute très tôt, 3-4 mois, et a lieu 3-4 fois/an.

Son développement est racinaire et très important, jusqu'à 6 m de profondeur et 3 m de rayon, pour lui permettre d'absorber l'humidité dans un grand volume de sol désertique.

Le *Parthenium argentatum Gray* est l'unique espèce du genre qui contienne des quantités suffisantes de caoutchouc pour avoir une importance économique.

Le contenu en caoutchouc peut varier de quelques % à 15 % sur poids sec. 2/3 du caoutchouc se trouve dans la partie aérienne, 1/3 dans les racines. Le caoutchouc se trouve dans des cellules isolées — sans communication entre elles — réparties dans toute la plante, mais principalement dans le parenchyme cortical.

Dans son aire d'origine, le climat est aride :
— 200 à 400 mm de précipitations annuelles en pluie torrentielle ;
— altitude entre 600 et 2 000 m ;
— terrain caillouteux, calcaire, pH de 6,5 à 8,4.

2. EXPLOITATION

Son exploitation a commencé au début du siècle, par la cueillette des populations spontanées du Mexique et a fourni bon an mal an 2 500 à 3 000 t jusqu'en 1950.

Aux U.S.A., durant la 2e guerre mondiale, l'Emergency Rubber project a fait un gros effort de sélection et 13 000 ha de Guayule ont été plantés, mais la construction simultanée d'usines de fabrication de caoutchouc synthétique a ruiné la culture.

Actuellement, avec la hausse du prix du pétrole, l'incertitude d'approvisionnement en caoutchouc naturel par les plantations d'hévéas d'Extrême-Orient et le désir d'auto-approvisionnement, le Mexique et les USA reprennent la question avec de sérieux moyens : le Mexique avec la construction d'une usine pilote, les U.S.A. avec la création de stations de recherche en Arizona, Californie et Texas et l'installation d'une usine pilote (Firestone) en Arizona.

3. LA CULTURE

— Germination des graines par traitement à l'hypochlorite.
— Pépinière en sacs ou en pleine terre durant 3-4 mois.
— Plantation mécanique en lignes, 40 000 pieds/ha.
— Récolte mécanique par coupe ou arrachage à 2-3-4 ans suivant la teneur en caoutchouc et le prix du caoutchouc.

4. LE TRAITEMENT D'EXTRACTION ET DE PURIFICATION

— Ebouillantage de la masse végétale (coagulation du caoutchouc dans les cellules, élimination des feuilles et terre).
— Passage au broyeur à marteau et au dépulpeur (séparation des fibres et du caoutchouc).
— Flottation (élimination du bois, pulpe et liège).
— Dérésinification par traitement à l'acétone, qui emporte les résines.
— Purification par solubilisation du caoutchouc dans l'hexane - la solution est filtrée et le caoutchouc pur coagulé.
— Séchage et conditionnement identiques à ceux du caoutchouc d'hévéa.

5. POSSIBILITÉS

— **Rendement**

Quand la culture fut abandonnée en Californie en 1946, le rendement atteignait 400 à 500 kg de caoutchouc sec/an, en culture irriguée et mécanisée. Des produits stimulant la teneur en caoutchouc viennent d'être découverts et qui permettraient d'augmenter sensiblement cette production.

— **Extraction**

Le caoutchouc contenu dans les cellules isolées est difficile à extraire et, de plus, il contient un fort pourcentage de résines qu'il faut séparer. Les chercheurs mexicains ont cependant trouvé un procédé de traitement qui permet d'obtenir un caoutchouc comparable à celui de l'hévéa et permettant les mêmes usages.

— **Extension**

En Afrique du Nord et sur le pourtour méditerranéen, de grandes surfaces sont susceptibles de convenir à la culture de guayule, lequel apporterait pour ces zones une diversification des cultures et une matière première qui n'est produite jusqu'à présent que dans les pays à pluviométrie élevée.

AUTRES PLANTES A CAOUTCHOUC

Noms latins ou communs	Type de plante et densité de plantation	Écologie	Modes d'extraction du latex	Observations
Taraxacum Kok-saghiz	Plante herbacée 200 000 1 000 000/ha	Tempéré, jours longs, sols lourds sains, latitude 35-45°	Broyage des racines	
Castilloa elastica	Grand arbre 100/ha	Tropical humide	Saignées très espacées (2-6 mois)	Richesse en caoutchouc faible et variable Stabilité du latex
Ficus elastica *Funtumia elastica* *Manihot glaziovii*	Arbre 100/ha Arbre Grand arbuste 1 400 ha	Tropical humide Tropical Tropical	— — Incisions multiples	— — Le latex est récolté après coagulation sur le tronc
Cryptostegia grandiflora	Liane nécessitant tuteur 2 000-16 000/ha	Tropical (sec ou humide)	Saignées très espacées ou broyage des bouts de tige	
Asclepias (Goldenrod)	Plante herbacée 12 000 - 24 000/ha multiplication par stolons		Broyage des feuilles dans solution alcaline	

NOTE. - La culture du Kok-saghiz, du *Cryptostegia* et de l'*Asclepias* est abandonnée depuis la fin de la dernière guerre mondiale. Les plantes autres que l'hévéa ne sont pratiquement plus exploitées actuellement.

A signaler que la gutta-percha (obtenue du latex de plusieurs arbres de la famille des Sapotacées : *Plaquium* et *Payena*) sert à fabriquer, entre autres, l'enveloppe des balles de golf.

Cannelier
Cardamome
Curcuma
Gingembre
Giroflier
Muscade ou Macis
Piment
Poivrier
Autres poivres
Vanille

CANNELIER

Lauracée **Cinnamon**
Cinnamonum zeylanicium, Cinnamorum cassia **Canela**

« Les cannelles sont les écorces de plusieurs végétaux du genre *Cinnamonum*. Ce sont les plus anciennes des épices ». (1)

La cannelle est originaire de l'Inde occidentale et du Sri Lanka. Seul le cannelier de « Ceylan » fournit la véritable cannelle.

« Les écorces commerciales proviennent de plants cultivés, auxquels on ne permet pas de se développer en arbres ». (2)

« Le cannelier de Ceylan exige une pluviosité abondante entre 2 et 4 m par an. Il demande aussi une température moyenne élevée de l'ordre de 30° C ». (3)

« Le cannelier peut être multiplié au moyen de boutures, de marcottes, par division de vieilles souches, ou par semis en pépinières ». (4)

« La première récolte a généralement lieu vers la 3e ou la 4e année après la taille de formation ; les récoltes ultérieures ont ensuite lieu tous les deux ans ». (5)

La moyenne des rendements est de l'ordre de 180 à 220 kg/ha de "quills" (lames très minces d'écorces emboîtées les unes dans les autres) et de 60 à 65 kg de "chips" (déchets d'écorce).

La cannelle de « Ceylan » est produite à Sri Lanka, aux îles Seychelles et un peu à Madagascar, (au total environ 4 000 tonnes/an).

L'huile essentielle de la feuille de cannelier est utilisée en parfumerie.

(1) Maistre, page 53, Les Plantes à épices, Maisonneuve et Larose.
(2) Maistre, page 54.
(3) page 56.
(4) page 58.
(5) page 60.

CARDAMOMES

Zingiberacée **Cardamom**
Elettaria cardomomum

« Le cardamome de Malabar est constitué par le fruit mûr séché ou par les graines seules de *Elettaria cardamomum*. L'épice se présente sous la forme de capsules de cardamome ou de graines de cardamome » (1).

Le cardamome exige une certaine altitude (1 000 m), de l'humidité (au moins 3 m d'eau/an) et de l'ombrage.

Les rendements varient entre 200 et 1 000 kg de cardamomes secs en capsules à l'ha.

« Les utilisations du cardamome varient avec les pays. Il sert :
— au Moyen-Orient à parfumer le café,
— en Extrême-Orient à préparer les poudres de carry, la chique de bétel et la noix d'Arec,
— en Europe dans les mélanges de condiments (et en Suède en boulangerie) » (2).

L'huile essentielle, qui donne l'odeur caractéristique est employée en parfumerie.

CURCUMA

C'est le turméric des Anglais.

Le Curcuma est une plante qui ressemble beaucoup au gingembre. « Il est employé en cuisine (en Inde surtout). Il sert dans la confection des pickles et des poudres de carry » (3).

En dehors de son arôme et de sa saveur, il est d'une couleur jaune très marquée.

GINGEMBRE

Zingibéracée **Ginger**
Zingiber officinale **Gingibre**

« On pense que la plante est originaire de l'Inde et de la Malaisie » (4).

« Le zingiber officinale est une plante herbacée vivace... Sa partie souterraine est constituée par un rhizome couvert de feuilles écailleuses » (5).

« Le gingembre demande un climat tropical ou subtropical où la température

(1) Maistre p. 345 op. cit.
(2) Maistre p. 246 op. cit.
(3) Maistre page 51 op. cit
(4) Maistre page 11.
(5) Maistre page 12.

est élevée, au moins une partie de l'année. Il exige un grand ensoleillement et aussi une pluviométrie moyenne annuelle supérieure à 2 mètres » (1).

« La multiplication du gingembre se fait pratiquement toujours par voie asexuée... on utilise les éclats de rhizome frais, qui doivent porter chacun au moins un œil » (2).

Les écartements à la plantation varient énormément en fonction de la préparation du sol (planches ou billons) et des conditions climatiques existantes.

Le sol doit être léger, profond et riche en matière organique.

On compte en général de 7 à 10 mois entre la plantation et la récolte.

Les rendements sont, à l'ha, de l'ordre d'une dizaine de tonnes de rhizomes frais, ce qui correspond approximativement à 1,5 t de gingembre sec.

Le gingembre est présenté sur le marché soit sous forme de gingembre en conserve, soit sous forme de gingembre sec.

Le gingembre sec est employé comme épice à cause de son arôme délicat et de sa saveur plus ou moins brûlante.

Il constitue un des éléments de la poudre de carry, sert pour la fabrication de pain d'épices, et de diverses boissons (ginger-ale, ginger-beer).

En médecine, il combat l'atonie gastrique.

La production mondiale est estimée à 35 000 tonnes. Les principaux producteurs sont l'Inde (17 000 t) puis la Jamaïque, Sri Lanka, Sierra Leone, etc.).

Les principaux consommateurs sont, en dehors des producteurs, les pays arabes et les pays anglo-saxons.

GIROFLIER

Myrtacée — **Cloves**
Eugenia caryophyllus — **Clavo de Olor**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le giroflier est surtout cultivé pour ses « clous » et ses « griffes » qui servent d'aromates dans l'alimentation d'un grand nombre de pays. On cultive également le giroflier pour ses feuilles dont on extrait une essence très riche en « eugénol ». Accessoirement, on utilise les fruits du giroflier ou « anthofles » pour la confiserie.

L'eugénol sert à préparer la vanilline artificielle. Les essences de clous, de griffes, de feuilles, de branches et d'anthofles servent également en pharmacie pour la préparation de divers médicaments, en parfumerie, en savonnerie, pour la préparation de pâtes dentifrices, pour la préparation de certaines peintures et vernis, en chirurgie (propriétés bactéricides), en droguerie, etc.

(1) Maistre page 14.
(2) Maistre page 19.

Enfin, en Indonésie par exemple, on hache des clous et des griffes de girofle et on les mélange au tabac pour confectionner des cigarettes « Kretek » qui crépitent en brûlant.

2. BOTANIQUE

Le giroflier est originaire d'Indonésie (Iles Moluques).

« C'est un très bel arbre à feuillage persistant pouvant atteindre 12 à 15 m de hauteur » (1).

Si on cueille les boutons floraux avant leur épanouissement, on a les « clous de girofle ». La corolle dont les pétales sont repliés au sommet du clou de girofle s'appelle « tête du clou ».

3. ÉCOLOGIE

Le giroflier demande des climats équatoriaux, chauds (marins de préférence), à forte pluviosité (1,5 à 2 m par an).

Le giroflier demande la pleine lumière. S'il est ombragé, il ne produira pas de clous.

Enfin, au-delà de 300 m d'altitude, sa croissance est ralentie, l'arbre reste chétif et sa production devient nulle.

A Madagascar, la production varie beaucoup d'une année à l'autre ; il semble qu'une des raisons principales de ces fluctuations soit d'ordre climatique ; la pluviométrie des mois de septembre - octobre - novembre a une influence non négligeable sur le volume de la production de clous de l'année suivante. Une faible pluviométrie favorise la production.

4. CULTURE

4.1. Semis en pépinière

Le semis en pépinière est le seul mode de reproduction qui soit couramment employé (2).

« Étant donné la faible durée de la faculté germinative des graines (anthofles), il est nécessaire de les mettre en terre sans tarder dès leur récolte » (3).

« Le semis peut également se faire en paniers de 30 cm aussitôt après la récolte — faculté germinative limitée à 2 semaines ».

4.2. Mise en place

A 8 x 8 ou 10 x 10, plants ayant un an et demi à deux ans de pépinière, dans des trous de 50 cm en tous sens.

(1) Maistre page 79.
(2) Maistre page 90.
(3) Maistre page 90.

4.3. Fumure

Fumure moyenne théorique de reconstitution (en kg/ha) :

	Récolte des clous	Distillation des feuilles
Chaux	1 000	1 000 - 1 500
Cl. K	200	240 - 300
Phosphate naturel	400	500 - 800
Sulfate d'ammoniaque	100 - 150	150 - 200

4.4. Récolte

Le giroflier commence à fructifier vers la 5e ou la 6e année, ce n'est que vers 8 à 10 ans que la récolte de clous commence à être appréciable. La pleine production est atteinte vers 20 ans.

On récolte les clous lorsqu'ils sont roses, c'est-à-dire au moment où ils contiennent le plus d'essence. Les pétales ne sont pas encore ouverts. Si on laisse les clous s'épanouir, cette teneur en essence diminue beaucoup et on a des clous sans tête. Si on récolte trop tôt, on obtiendra des clous ridés. Il faudra donc procéder à une récolte en plusieurs fois et au moment optimum, les inflorescences ayant une maturité échelonnée. On conseille 3 à 4 passages dans la plantation.

— La récolte se fait à la main. L'ouvrier monte sur des échelles et prélève toutes les griffes avec les clous qui y sont insérés.

— Un ouvrier peut récolter de 30 à 40 kg d'inflorescences, soit 25 à 30 kg de clous frais par jour.

— Les rendements moyens sont de l'ordre de 6 à 16 kg de clous frais par arbre et par an.

— Les rendements à l'ha en clous varient de 900 kg à plus de 2 tonnes.

— Malheureusement, la production des girofliers est très irrégulière et on ne peut compter sur une bonne production qu'une fois tous les 3 à 4 ans.

— Dans les plantations soignées, la production se maintient jusque vers l'âge de 75 ans.

— En ce qui concerne la récolte des feuilles pour la distillation, elle est incompatible avec la production des clous. On coupera les extrémités des branches sur 30 à 40 cm de long avec un coupe-coupe bien aiguisé. Un arbre donne 80 kg de jeunes feuilles environ. Il convient d'attendre 3 ou 4 ans avant de retailler le même arbre de la sorte. Il est interdit de couper les girofliers qui n'ont pas atteint 4 m de haut.

— La coupe des feuilles est échelonnée sur plusieurs mois, ce qui permet aux alambics de fonctionner pendant 6 mois au moins.

5. MALADIES ET ENNEMIS

5.1. Maladies

— Sudden death : mort subite due à un champignon qui tue d'abord les poils absorbants, puis gagne les racines et le collet et se répand dans l'arbre entier, provoquant ainsi la mort en moins de deux semaines.

— Die back : dépérissement dû à des pourridiés, ou champignons des racines, et à la pauvreté du sol. Le giroflier a un feuillage qui flétrit en partant de la cime et en allant vers la base. Il meurt finalement mais lentement.

— Maladie des taches rouges (red spot) : due à un champignon qui provoque des taches rouges sur les feuilles.

— Anthracnose due à un champignon qui provoque des taches de couleur crème cerclées de brun sur les feuilles.

— Lèpre : due à une algue qui provoque des taches brunes sur les feuilles.

— Maladies mineures : fumagines, etc.

— Toutes ces maladies ne sont guère importantes. Les plus gros dégâts sont provoqués par le vent, car le giroflier est un arbre d'une grande fragilité.

5.2. Ennemis

Chrysotypus mabilianum : ou « andretra » (en malgache) qui est une chenille qui creuse de grosses galeries dans le tronc et les branches. Les dégâts peuvent être importants et plusieurs chenilles peuvent causer la mort de l'arbre.

6. TECHNOLOGIE

6.1. Préparation des clous

Inflorescences fraîches

↓ — égriffage ..... clous frais + griffres fraîches

↓ — séchage ..... clous secs + griffes sèches

Clous et griffes secs

« La dessication du clou est achevée quand il ne contient plus que 12 à 16 % d'eau. On estime que 1 000 kg d'inflorescences fraîches fournissaient de 780 à 800 kg de clous frais et de 200 à 200 kg de griffes fraîches qui, après dessication, donnaient finalement 230 à 240 kg de clous secs et 70 à 75 kg de griffes sèches » (1).

6.2. Préparation de l'essence de girofle

Par distillation, on extrait des divers organes du giroflier une huile essentielle de densité 1 030 à 1 080, une bonne essence donnant 90 à 98 % d'eugénol et ayant une densité > 1 050.

— Les clous fournissent 16 à 20 % d'huile essentielle à 78-98 % d'eugénol.

— Les griffes fournissent 4 à 6 % d'huile essentielle à 80-95 % d'eugénol.

(1) Maîstre p. 107 op. cit.

— Les antholfes fournissent 2 à 3 % d'huile essentielle à 53 % d'eugénol.
— Les feuilles fournissent 1 à 3 % d'huile essentielle à 75-88 % d'eugénol.

Les anthofles (fruits) sont rarement distillés, on les utilise confits.

Les feuilles sont surtout distillées à Madagascar : elles fournissent une essence très appréciée des parfumeurs.

L'essence est utilisée pour l'extraction de l'eugénol et de l'isoeugénol.

6.3. Normes commerciales des clous de girofle

Qualités	Type	Aspect	Couleur	Poids moyen unitaire en g	Humidité %	% de défauts		
						Impuretés	Mat. étrangères	Clous sans bouton
Prima	1	Clous entiers fermes	Brun clair uniforme	7	16	2	0	2
Supérieur	2	—	Brun clair		16	3	0	3
Courant	3	Clous entiers			16	5	0	10
Tout venant	4	Clous secs			16	5	1	20

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. temps de travaux (jt/ha) :

Récolte	72 jours
Egriffage	35 jours
Manutention	8 jours
Total	115 jours

7.2. Les deux gros pays producteurs de clous sont le Zanzibar et la République Malgache (respectivement 11 000 et 4 200 t).

La production mondiale est voisine de 20 000 t.

Le principal pays consommateur est, de loin, l'Indonésie, qui consomme sa propre production (3 000 t) et qui doit cependant en importer encore 8 000 t. Cela vient du fait que ce pays est le seul à mélanger du girofle au tabac.

MUSCADE ET MACIS

Myristicacée — **Nutmeg and Mace**
Myristica fragrans — **Nuez Muscada**

« La noix muscade et le macis sont deux épices provenant de la même plante. La première est constituée par l'amande de la graine et la seconde par l'arille entourant cette même graine. » (1)

« *Myristica fragrans* est un arbre dioïque, atteignant jusqu'à 10 et même 20 mètres de hauteur » (2).

« La graine est ovoïde, de 3 à 4 cm de long sur deux de large, à tégument ligneux brun foncé recouvert partiellement d'un arille charnu, lacinié, de couleur rouge plus ou moins orangé. Sous le tégument ligneux, dur, se trouve l'amande ou muscade » (2).

« Le muscadier exige un climat chaud et humide et réclame une pluviosité annuelle de l'ordre de 2 m à 2,50 m » (3).

« Actuellement le muscadier est surtout exploité en Indonésie et dans l'Ile de Grenade aux Antilles » (3)

« La multiplication du muscadier est généralement faite par semis » (4).

« L'arbre commence à fleurir vers 8-9 ans... Il n'atteint cependant sa pleine production que vers l'âge de 25 ans et peut produire ensuite abondamment jusqu'à 60 ans » (5).

« Le rendement d'un bon arbre peut être estimé à 1 500-2 000 noix/an, ce qui représente environ 3,500 kg de noix et 450 g de macis » (5).

La muscade et le macis sont employés en pâtisserie et pour aromatiser les confiseries et les sauces.

L'huile essentielle de noix muscade est utilisée en parfumerie et pour la préparation de dentifrices et de certains médicaments.

PIMENT

Solanacée — **Chili, red pepper**
Capsicum frutescens — **Chili**

« Le piment est la seule des épices traditionnelles qui soit originaire du continent américain (Antilles, Brésil, ...) » (6)

« Le *Capsicum frutescens* est un petit arbuste vivace dont les fleurs sont groupées par 2 ou 3 à l'aisselle des feuilles » (7).

Nous ne parlons ici que des « chillies », que la coutume définit comme étant « les seuls petits fruits à saveur très brûlante de l'espèce *C. frutescens*, à l'exclusion des autres fruits de taille plus importante » (8)

(1) Maistre page 249 op. cit.
(2) Maistre page 250 op. cit.
(3) Maistre page 251 op. cit.
(4) Maistre page 252 op. cit.
(5) Maistre page 254 op. cit.
(6) Maistre page 221 op. cit.
(7) Maistre page 222 op. cit.
(8) Maistre page 222 op. cit.

Ces chillies ont de très nombreux noms « piment enragé », « piment oiseau », « piment cabresse », « piment caraïbe », et en anglais « birdpepper », « bird's eye pepper ».

« La plante qui fournit le piment enragé ou Chilli demande d'une part un climat chaud et humide pour favoriser sa croissance et d'autre part un temps sec pendant la maturation de ses fruits » (1).

La multiplication des piments se fait uniquement par semis.

« Il existe de nombreuses variétés de chillies, différentes par la forme, la taille et la saveur plus ou moins brûlante des fruits » (2).

Le rendement en fruits mûrs varie de 300 à 1 100 kg/ha. En culture irriguée, on peut dépasser 7 t à l'ha.

« La préparation du piment consiste en un simple séchage... Il faut de 2,5 à 4 kg de fruits mûrs frais pour obtenir 1 kg de chillies sec » (3).

« Les chillies sont le plus souvent désignés dans le commerce par le nom de leur pays d'origine (Africain, Mexicain, Japonais, Américain, ...) » (4).

Les piments contiennent une petite quantité d'huile essentielle à laquelle ils doivent leur odeur et un alcaloïde, la capsaïcine, à laquelle ils doivent leur saveur piquante et brûlante.

Les chillies sont employés en médecine (contre l'atonie gastro-intestinale et certains cas de diarrhée) mais ils servent surtout comme épices (ils entrent dans la composition du carry indien).

POIVRIER

Piperacée — **Black pepper**
Piper nigrum L. — **Pimenta negra**

1. BUTS DE LA CULTURE

Originaire de l'Inde, le poivrier est cultivé pour ses fruits ou « grains de poivre », utilisés comme épice.

On distingue :

— Le « poivre noir » : ou grains de poivre récoltés souvent avant maturité complète, qui noircissent et se couvrent de rides un peu saillantes en se desséchant.

— Le « poivre blanc » : ou grains de poivre récoltés à bonne maturité et débarrassés de leurs enveloppes externes après trempage, légère fermentation et séchage.

— Le « poivre vert », poivre frais de 4 mois (les baies sont encore à l'état laiteux) et utilisé dans les pays producteurs et exporté sous forme : surgelée, sous vide ou en conserve (saumure, vinaigre).

(1) Maistre page 223 op. cit.
(2) Maistre page 225 op. cit.
(3) Maistre page 229 op. cit.
(4) Maistre page 230 op. cit.

Le poivre sert également à la fabrication de certains médicaments, à la préparation de quelques parfums, comme insectifuge pour la protection des fourrures et des lainages, etc.

2. BOTANIQUE

« Le *Piper nigrum* se présente sous la forme d'un liane pérenne, à feuillage persistant, grimpant sur un tuteur et pouvant alors atteindre 10 m de hauteur ». (1)

« La partie aérienne comprend 3 sortes de bois :
— des stolons qui rampent sur le sol,
— des tiges orthotropes (ou de charpente),
— des tiges plagiotropes (ou fructifères) » (2).

L'inflorescence se présente comme un épi pendant de 20 à 50 fleurs donnant des baies vertes virant au jaune puis au rouge au fur et à mesure que se développe la maturation.

« Le fruit est une baie sessile de 4 à 8 mm de diamètre » (3).

L'espèce *nigrum* du genre Piper comprend un très grand nombre de variétés. Toutefois, parmi les variétés cultivées, on peut distinguer deux classes principales auxquelles elles se rattachent plus ou moins :

— Le type « Lampong » ou « Kawur » à grandes feuilles, à épis longs et à petites baies.

— Le type « Muntok » ou « Bangka » à petite feuilles, à épis courts et à grosses baies.

Poivre à grandes feuilles (petits fruits et grandes grappes)	Poivre à petites feuilles (gros fruits et épis courts)
Croissance vigoureuse. Port étalé des secondaires.	Secondaires fines et pendantes.
Tige grosse et fragile.	Tige coriace.
Début de production 3 ans.	Entrée en production précoce.
Cycle floraison maturation de 9 mois.	Cycle de 10 mois.
Floraison groupée.	Floraison étalée.
Vieillissement plus rapide.	Vieillissement plus lent.
Très exigeant.	Moins exigeant.
Sensible aux maladies.	Moins sensible.

3. ÉCOLOGIE

C'est une plante de climat tropical humide ou équatorial.

(1) Maistre p. 126 op. cit.
(2) Maistre p. 126 op. cit.
(3) Maistre p. 128 op. cit.

3.1. Besoins en chaleur

Le poivrier ne pousse bien que dans les pays à forte température moyenne. Il lui faut une moyenne de 23 à 26° C tout au long de l'année.

3.2. Besoins en eau

Le poivrier demande une pluviosité annuelle qui varie de 2 à 3 m avec des pluies régulières et bien réparties durant 7 à 8 mois. Mais il lui faut également une saison moins arrosée de 4 à 5 mois afin de favoriser la maturation et le groupement de cette maturation dans le temps.

Le poivrier redoute les pluies violentes qui risquent de stagner au pied des lianes, ainsi que les cyclones et les grands vents.

Le degré hygrométrique de l'air doit être constamment élevé (de 80 à 90 %).

3.3. Besoins en lumière

Le poivrier vit, à l'état spontané, dans les forêts. C'est une plante d'ombre. Une trop forte insolation nuit en effet à sa vigueur. Néanmoins, si la nébulosité est trop excessive, la fructification puis la maturation des grappes se feront dans de moins bonnes conditions. Le poivrier demande donc un ombrage léger.

3.4. Besoins en sols

Le poivrier demande des sols profonds, perméables, frais, bien drainés, ayant une bonne structure physique, riches en matières minérales et en humus.

Il préfère les sols argilo-siliceux ou silico-argileux. Il redoute particulièrement l'eau stagnante et il faut que la nappe phréatique soit à au moins 2 m de la surface du sol. Dans les zones très arrosées, on placera, de préférence, les poivriers sur des terrains à pente faible afin de faciliter le drainage, c'est-à-dire sur les colluvions de bas de pente et sur les alluvions hautes.

En ce qui concerne le pH, il faut au poivrier une légère acidité : de 5,5 à 7.

Au point de vue chimique, les sols doivent être riches en N (1 à 1,5 %), à forte capacité d'échange (20 à 30 me/100 g) à C/N élevé en surface (de 15 à 25).

3.5. Besoins en altitude

Le poivrier est généralement une plante de basse altitude. A Madagascar, il ne fructifie plus si on le cultive au-dessus de 300 à 400 m. Aux Indes et en Indochine, cependant, on peut le rencontrer jusqu'à 1 000 m.

4. CULTURE

4.1. Multiplication

Le poivrier est multiplié normalement par boutures de 50 cm de long, prises sur tiges orthotropes.

En sélection, on pratique le semis des graines les plus grosses (8 000 graines au kilogramme, à raison de 400 graines au mètre carré). La faculté germinative de bonnes graines est de 75 à 85 %.

La multiplication par graines ne se justifie qu'en station de recherches. Elle est à proscrire absolument dans une poivrière de rapport.

La bouture à une feuille tend à remplacer la sélection massale par la sélection clonale.

A Madagascar, deux clones améliorés sont vulgarisés par la station de l'Ivoloina :

— IV — 1,
— IV — 38.

4.2. Modes de culture

Ils sont très variés entre les extrêmes suivants :

Culture extensive (de case)	Culture intensive (de plantation)
Sur tuteurs vivants. Densité : 750/ha environ. Attache sommaire Fumure réduite. Récolte unique. Rendements approximatifs : 450 g/liane 350 kg/ha.	Sur tuteurs morts. Densité : 2 500/ha. Attache à chaque noeud. Fumure. Traitements. Récoltes au fur et à mesure de la maturité. 1 à 2 kg/liane 3 500 kg/ha.

Les tuteurs vivants doivent avoir un enracinement pivotant et une croissance rapide, supporter les élagages sévères, avoir une écorce adhérente. Parmi les essences utilisées, on peut citer : *Erythrine sp., Leucaena glauca, Cassia siamea, Pterocarpus sp.* (Sangdragon), *Ceara sp.*

— *Spondias monbin* (a donné de bons résultats en Centrafrique, mais exige une densité de plantation inférieure à 2 500 lianes/ha.

Comme tuteur mort, le bois d'*Autranella congolensis* donne satisfaction en Centrafrique.

4.3. Entretien

En culture intensive, le jeune poivrier nécessite une taille soignée : les quatre premières années, il faut le rabattre à 30 cm au-dessus de la taille précédente.

Chaque année, il faut apporter au début des pluies une forte fumure minérale et organique par pied :

— 5 kg de compost + fumure minérale d'équilibre 4-2-1.

4.4. Rendement

Il varie fortement au cours de la vie des lianes.

— En plantation intensive, une liane de 3 ans donne 1 à 2 kg de poivre frais.
— Puis entre 4 et 7 ans, le rendement croît progressivement de 3 à 10 kg.
— Pour décroître ensuite jusqu'à 2 à 2,5 kg lorsque la liane a 15 ans.

Après quoi, il est nécessaire de renouveler la plantation.

5. MALADIES ET ENNEMIS

Maladie du collet (*Phytophtora palmivora*).	Écorce foncée puis noire ; progression de bas en haut.	Variétés résistantes et pulvérisations de produits cupriques sur la base des lianes.
Nématodes.	Agents initiaux des maladies de dépérissement.	Mulching. Traitements du sol (onéreux).
Anthracnose (*Colletotrichum necator*).		
Pyrale du poivrier (*Anonalpestis tamsi*).	Borer de la tige ; progression de bas en haut.	Esters phosphoriques.
Galles (*Elsinoe piperis*).	Galles sur feuilles.	Traitements fongicides (cuivre).

6. TECHNOLOGIE

6.1. Préparation

« La préparation du poivre varie selon que l'on désire obtenir du poivre noir ou du poivre blanc » (1).

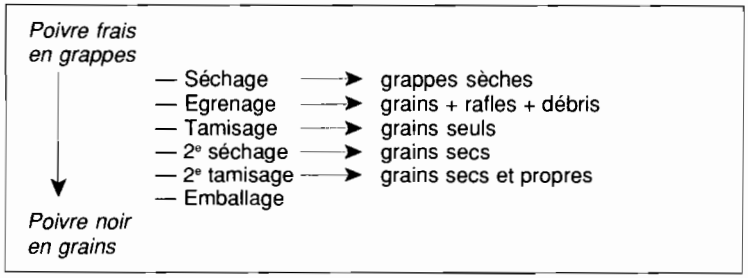
6.1.1. LE POIVRE NOIR

Le poivre noir correspond au fruit entier et desséché.

Les épis sont cueillis lorsque quelques grains commencent à jaunir ou à rougir (on ne peut pas attendre la maturité complète et totale, car les dégâts provoqués par les oiseaux seraient alors trop importants).

Dans certains cas les épis sont ébouillantés.

Le séchage se fait au soleil.



On compte que 100 kg de poivre frais donnent 35 kg de poivre noir sec.

(1) Maistre p. 189 op. cit.

6.1.2. LE POIVRE BLANC

« Le poivre blanc est obtenu en enlevant du fruit la partie du péricarpe comprenant l'épiderme et la partie externe du mésocarpe, c'est-à-dire située en dehors du réseau vasculaire » (1).

La suite des opérations est la suivante :

Poivre frais en grappes
- — Rouissage → grains ramollis
- — Lavages → grains de poivre blanc
- — Séchage → grains de poivre blanc secs
- — Emballage

Poivre blanc en grains

— *Rouissage* : les grains de poivre parfaitement mûrs sont placés dans des sacs que l'on remplit à moitié et que l'on ferme. On place ces sacs dans un courant d'eau lent durant 7 à 10 jours. La « pulpe » (épicarpe + mésocarpe externe) doit se détacher facilement de la graine proprement dite, entre les doigts.

— *Lavages* : les grains rouis sont alors frottés entre eux à la main ou au pied et lavés dans de l'eau courante. La « pulpe », les déchets divers et les grains creux sont éliminés.

— *Séchage* : les grains de poivre blanc sont alors étalés en couches minces sur une aire cimentée ou sur une natte au soleil durant 2 à 3 jours. Leur taux d'humidité doit alors être de 11 à 15 %.

— *Emballage* : dans des sacs, du poivre blanc sec et propre, ainsi préparé.

On estime que 100 kg de poivre frais donnent 21 à 26 kg de poivre blanc sec.

Le poivre rouge (2) est une qualité particulière du poivre blanc. Ce produit est uniquement préparé pour la consommation personnelle du pipériculteur à partir des baies bien rouges parfaitement mûres. Ce poivre est de toute première qualité.

Le poivre des oiseaux (3) est aussi un poivre blanc et rouge de très grande classe. Il se prépare tout seul... en passant dans le tube digestif des oiseaux.

6.1.2. LE POIVRE VERT

C'est un poivre frais récolté à quatre mois (voir buts de la culture).

6.2. Composition

En plus des composés communs à la plupart des fruits et grains, les grains de poivre contiennent 3 substances particulières :

— un alcaloïde : la pipérine,
— une huile essentielle,
— une résine.

C'est à elles que le poivre doit les propriétés organoleptiques qui font sa valeur.

(1) Maistre p. 194 op. cit.
(2) Maistre p. 197 op. cit.
(3) Maistre p. 197 op. cit.

6.3. Conditionnement

Le poivre fait l'objet des normes suivantes :
AFNOR : NF V 32 075 - NF V 32 076 - NF V 32 077
ISO : Recommandation R 959.

A Madagascar, les normes actuellement en vigueur donnent notamment les caractéristiques suivantes (J.O. du 7-2-1970) :

— Pour le poivre noir, la densité exigée est de 480 g au lieu de 450 g précédemment.
— Pour le poivre blanc, la densité exigée reste fixée à 650 g.
— Le taux maximum d'humidité est ramené à 12 % au lieu de 15 % précédemment.
— La densité du poivre « léger » est fixée à 250 g.

7. DONNÉES STATISTIQUES

Temps de travaux (jt/ha)

Madagascar		
• Travaux préculturaux		298
• Fumure		6
	Total préparation du sol	304
• Boutures		60
• Plantation		145
• Entretien		200
	Total 1re année	405
• Remplacements		60
• Entretien		320
• Fumure		6
	Total 2e année	386
A partir de la 3e année		
• Entretien - Récolte		650
• Emondage tuteurs		6
	Total 3e année	656
	Idem 4e année	656
	Idem 5e année	656

VANILLIER

Orchidacéee — **Vanilla**
Vanilla sp. — **Vanilla**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le Vanillier est essentiellement cultivé pour son fruit : la gousse de vanille qui

contient un principe aromatique, la « Vanilline ». Ceci la fait utiliser pour la confiserie, pâtisserie, parfumerie, chocolaterie, fabrication de liqueurs fines, droguerie, fabrication de produits pharmaceutiques, etc.

Actuellement, le débouché principal des gousses de vanille est le marché américain qui les utilise pour la fabrication des crèmes glacées.

Dans les régions de culture, on se sert des feuilles pour guérir certaines plaies.

De nos jours, la vanille est fortement concurrencée par la vanilline artificielle.

2. BOTANIQUE

Parmi les très nombreuses espèces du genre *Vanilla, V. fragrans, V. pompona* et *V. tahitensis* font seules l'objet d'exploitation.

V. fragrans, originaire d'Amérique tropicale, est la plus cultivée.

Le principal facteur limitant de la culture du vanillier est constitué par le parasitisme (notamment *Phytophtora*). On cherche à créer des types variétaux résistants à cette maladie, ayant un faible développement végétatif qui permette une bonne aération de la plante et diminue l'humidité ambiante de façon à contrarier la croissance des cryptogames.

L'amélioration variétale est basée sur l'hybridation entre *V. Fragrans* et différentes espèces, en particulier *V. Pomona, V. Haapape, V. Phaeanta, Sp 33*, etc. Parmi le hybrides en cours d'étude à Antalaha (Madagascar), il faut citer IRAT 55 295 dont la teneur en vanilline est très élevée (7,1 % au lieu de 4,5 % en moyenne chez *V. Fragrans*).

3. ÉCOLOGIE

3.1. Besoins en chaleur

Le vanillier craint le froid (à partir de + 9° C) et les très fortes chaleurs (37° C). Il demande une température la plus uniforme possible, comprise entre 20 et 30° C sans grandes différences entre les températures du jour et de la nuit. Une légère diminution de la température est cependant favorable lors de la maturation des fruits.

3.2. Besoins en eau

Le vanillier demande des pluies abondantes, de l'ordre de 2 à 3 m par an, et une hygrométrie élevée. Néanmoins, quelques semaines de sécheresse sont favorables au vanillier pour déclencher la floraison et favoriser la maturité des gousses. L'hygrométrie de l'air doit être $\geqslant$ à 80 %.

3.3. Besoins en lumière

Le vanillier pousse au mieux avec une lumière douce que l'on obtient par un ombrage. L'insolation directe peut provoquer des « coups de soleil » sur les lianes, ce qui nuit à leur santé. Toutefois, en culture, une légère insolation durant 2 à 3 mois donne de bonnes productions.

3.4. Besoins en sols

Le vanillier demande des sols légers, qui se drainent bien, riches en humus et en matières minérales. Il préfère les sols provenant de la décomposition des roches volcaniques et les alluvions sablonneuses et humifères le long des rivières non soumises aux crues. Sur les collines, il faut rechercher les sols de défrichement forestier qui n'ont pas été brûlés. Il demande des sols légèrement acides à pH de 6,5 à 6,9.

3.5. Besoins en altitude

Le vanillier pousse à Madagascar depuis le niveau de la mer jusqu'à 700 m d'altitude. Au-delà, les rendements diminuent beaucoup.

4. CULTURE

4.1. Multiplication

La plantation est faite sur défriche de forêts à partir de boutures de 1,50 m de longueur, placées contre des tuteurs vivants espacés de 1 à 3 m en moyenne, par exemple 2 m sur la ligne et 3 m entre les lignes (densité recommandée à La Réunion, soit 1 666/ha).

Les principaux tuteurs vivants employés sont : *Jatropha curcas* (Pignon d'Inde), *Casuarina* (filao), *Pandanus utilis, Glyricidia maculata.*

Ce dernier se multiplie facilement par plançonnage et ne favorise pas *Phytophtora*. Il doit être taillé ; la première taille se fait à 70 cm du sol, pour que se forment un ou plusieurs V ; la taille suivante se fait à 1 m. Ensuite on élève le moins possible le niveau de chaque taille, afin que les travaux sur les vanilliers puissent se faire commodément.

Il est nécessaire d'ombrager à 30-50 %. Aussi peut-on utiliser des plantes à pousse rapide : bananier, ambrevade.

La plantation doit être protégée par des brise-vent : manguier, filao, jacquier.

Les boutures de vanillier doivent être assez longues (1,50 m), pour que 3 ou 4 noeuds soient en terre et qu'elles puissent passer dans le V du tuteur. Elles doivent être parées ; les crampons sont coupés au couteau très tranchant du genre greffoir (ne jamais utiliser le sécateur sur le vanillier) et les feuilles des 4 à 5 entre-noeuds inférieurs enlevées. La liane est ensuite roulée en couronne et mise à mûrir 2 à 3 semaines à l'ombre et au frais. Elle est ensuite mise en place avec précaution en évitant de blesser les racines qui commencent à pointer.

La bouture est disposée sur une longueur de 3 à 4 entre-noeuds dans une tranchée de 40 cm de long, 10 cm de large et 3 à 4 cm de profondeur, et recouverte de terre meuble.

Si la plantation est faite en saison humide, la base de la bouture est seulement posée sur le sol et recouverte de feuilles sèches.

Un paillage est effectué, à moins qu'on ne mette en place une plante de couverture. Le plus souvent s'installe une végétation spontanée où l'on relève : *Hydrocotyle asiatica, Oxalis, Panicum sp., Sténotaphrum*, etc.

4.2. Entretien et récolte

La croissance rapide (0,60 m à 1,20 m/mois) nécessite des pincements.

L'humus est le meilleur aliment du vanillier (feuilles et bois pourris) ; l'intérêt des engrais n'a pas été mis en évidence.

La plantation doit être nettoyée régulièrement : il faut veiller à laisser l'herbe se faner sur place avant de la rassembler sur la ligne des vanilliers, pour éviter les pourritures à la base de la tige.

A 2 ans, on commence à creuser un canal au milieu des lignes, de façon à assurer un meilleur drainage et à permettre un apport de terre sur la ligne. Ce canal ne doit pas être profond (quelques cm) ; il est régulièrement entretenu.

Deux à trois semaines avant cet apport de terre, on procède à la descente des lianes (début mai à La Réunion).

On réalise une boucle, dont la partie inférieure est en contact avec le sol, de façon à s'enraciner aisément ; cette partie est simplement recouverte de paille sèche.

Les fleurs, très rarement fécondées naturellement par l'intermédiaire d'une abeille du genre Mélipona, sont toujours, en plantation, fécondées artificiellement par la main-d'oeuvre féminine ou enfantine.

Ce travail n'est possible que le matin, lorsque l'humidité est forte, sinon les pollinies tombent au cours de l'opération. La sécheresse et les fortes pluies diminuent le taux de réussite.

La floraison dure deux à trois mois, elle s'étale entre novembre et janvier à Madagascar où la tâche journalière est de 1 200 à 1 500 fleurs fécondées par matinée.

L'idéal pour obtenir de la vanille de 1re qualité est d'avoir 8 gousses par balai, à la récolte.

Comme on doit compter sur un taux de 50 % de coulure, il est sage de féconder 24 fleurs par balai, ce qui permet encore d'éliminer les gousses insérées sur la partie supérieure de l'axe, et qui ne donneront pas de la vanille droite.

Un mois à six semaines après fécondation, la taille normale du fruit (gousse) est atteinte.

Sept à neuf mois après, le fruit est mûr. On récolte en juin-août à Madagascar.

La récolte se fait à raison d'un passage par semaine et demande 10 à 12 passages. Il est absolument indispensable que la vanille soit mûre mais non fendue, pour que le produit soit de premier choix.

4.3. Rendements

1 kg de vanille verte contient 80 gousses.

1 kg de vanille préparée contient 300 gousses.

En plantation bien conduite, on obtient en moyenne 600 à 800 g de vanille verte par tuteur, soit 1 000 à 1 400 kg de vanille verte par ha. Il s'agit de chiffres moyens, tenant compte en particulier du fait que le vanillier ainsi conduit ne commence à produire qu'à 3 ans et que sa période de production s'étend sur 5 à 6 ans.

4.4. Exemple de calendrier cultural

A La Réunion, les différents travaux sont réalisés aux époques suivantes :

— Plantation du tuteur : septembre-octobre
— Plantation du vanillier : septembre-octobre
— Taille du tuteur : juin (à 3 branches)
novembre (gourmands)
— Fauche de l'herbe : janvier-mars-mai
— Descente et bouclage de la liane : d'avril à juin

5. ENNEMIS ET MALADIES

— Anthracnose : taches jaunâtres puis brunes sur feuilles, tiges et fruits.
— Maladie des taches brunes : sur la tige surtout.
— *Phytophthora palmivora* : pulvérisations cupriques ou organo-cupriques.
— Fusariose : pourriture des racines dans le sol : variétés résistantes (hybrides) + paillage.
— Punaises.
— Escargots : appâts au méta.

6. TECHNOLOGIE

6.1. Préparation

La préparation consiste à favoriser la formation du parfum, à donner aux gousses un bel aspect, à éviter leur déhiscence et à les rendre aptes à bien se conserver.

Les procédés sont nombreux.

Dans le procédé de préparation à l'eau chaude, la suite des opérations est la suivante :

gousses vertes mûres

— pesée
— triage en vert → gousses de même longueur
— échaudage 63° C pendant 3 mn → gousses échaudées
— étuvage (24 h) → gousses perdant leur teinte verte
— soleillage (4 à 10 jours) → gousses noires brillantes
— dessication à l'ombre 2 à 3 mois → gousses moins turgescentes
— triage → gousses calibrées
— mise en malles (plusieurs mois) → gousses plus souples
— dressage → gousses droites en vrac
— triage → catégories de gousses
— mesurage → gousses de même longueur dans chaque catégorie
— empaquetage → paquets de gousses de 300 g
— observation → paquets stables
— emballage → boîtes de 7 à 12 kg de gousses préparées et empaquetées

Gousses préparées

3 à 4 kg de gousses fraîches donnent 1 kg de vanille marchande. La durée totale de la préparation est de 6 mois.

La méthode de préparation à l'air chaud récemment mise au point à Madagascar permet de traiter rapidement de grandes quantités :

— suivant la quantité de la vanille, le séchage dure 4 à 7 jours ;
— en travaillant en continu (21 heures par jour), on peut traiter 7 tonnes de vanille verte par semaine (installation utilisant le séchoir ROUCADIL) ou 14 tonnes avec un séchoir tunnel en maçonnerie. Le bâtiment nécessaire doit mesurer au moins 40 x 12 m, dans ce dernier cas.

Les différentes qualités de vanille sont définies de façon très précise (AFNOR V. 32-085).

CLASSEMENT :

— 1ère qualité : gousses noires luisantes.
— 2e qualité : légers défauts (vanille galeuse ou escargotée).
— 3e qualité : défauts plus marqués (vanille à ragues).
— 4e qualité : 3 classes de vanilles fendues.

SOUS-CHAPITRE IV — PLANTES A FRUITS (PRINCIPALES)

Agrumes
Anacardier
Ananas
Avocatier
Bananier
Litchi
Manguier
Papayer

AGRUMES

Famille des Rutacées
Sous-famille : Aurantioideae
Tribu : Citreae
Sous-tribu : citrinae
Trois genres : Fortunella — Poncirus — Citrus.

1. BUTS DE LA CULTURE

Oranger — L'orange est un excellent fruit de dessert, riche en vitamines C et P, en calcium et en phosphates.

Cuite avec du sucre, elle donne des marmelades et confitures.

Le jus d'orange est une boisson très courante.

La peau du fruit séchée ou confite et utilisée en confiserie. Elle donne une huile essentielle recherchée par les liquoristes, les parfumeurs et pharmaciens : l'essence de zeste.

On retire de la fleur, par distillation ou enfleurage une autre essence, le néroli doux ou néroli Portugal. Les feuilles donnent par distillation l'essence petit-grain.

Mandarinier - Excellent fruit de dessert, copieusement pourvu en vitamines A, B, C. Les emplois en parfumerie et liquoristerie sont sensiblement les mêmes que pour l'oranger.

Citronnier - Le fruit a de nombreux usages culinaires pour relever le goût de certains plats (poissons) et pour parfumer les entremets. En liquoristerie, limonaderie et confiserie, ses propriétés aromatiques sont utilisées sur une grande échelle.

Au point de vue médical, le citron est très précieux. C'est un antiscorbutique de premier ordre, aussi est-il largement utilisé par les individus privés de légumes frais : il possède en outre des propriétés antivomitiques, astringentes, diurétiques, rafraîchissantes. En gargarisme, il est très efficace contre les maux de gorge.

L'industrie du citron est très active en Italie où l'on extrait des jus, des essences de zeste utilisées en parfumerie, de l'acide citrique et plusieurs sous-produits. Mais les débouchés ont sensiblement régressé par suite de la concurrence des produits synthétiques.

Pomelo - Le fruit constitue une intéressante source de vitamines A, B, C. C'est un stimulant du flot gastrique et il possède des propriétés apéritives. Il est consommé au petit déjeuner mais aussi au début et à la fin des repas.

Le jus de pomelo est une boisson très populaire dans les pays anglo-saxons.

Bigaradier - Fruits utilisés en confiturerie.

On retire du bigaradier des essences recherchées. Les fleurs donnent le néroli vrai, produit de grande valeur qui entre dans la composition des parfums de qualité. Les bois de taille distillés fournissent le petit grain du bigaradier. La peau de fruit, verte et nectée, est achetée par les liquoristes et les fabricants d'apéritifs.

Cédradier - Fruit utilisé en confiturerie et confiserie.

Kumquat - Fruit destiné à la confiserie.

Lime - Mêmes usages que le citron, donne un jus très acide et parfumé.

Bergamote - Fournit une essence de zeste très estimée qui constitue la base de l'eau de cologne.

Limettier doux - Fruit consommé en nature. Sa fadeur ne lui procure aucun succès auprès des Européens.

Sous-produits

L'utilisation des sous-produits des agrumes prend une importance de plus en plus grande. C'est à la suite de la fabrication industrielle des jus d'agrumes que l'on a cherché à tirer parti des résidus.

L'industrie du jus produit surtout des concentrés qui sont dilués au moment de la consommation. Avec les tourteaux, on fait des aliments pour le bétail.

Les huiles essentielles tirées de la peau, la pectine provenant de la partie blanche de l'écorce, les huiles et tourteaux de pépins constituent autant de produits susceptibles d'abaisser le prix de revient des jus.

2. BOTANIQUE

Les agrumes appartiennent à la famille des *Rutaceae* (ordre des *Géraniales*).
Le mot « agrumes » désigne les seules espèces utilitaires du genre *citrus* et de deux genres voisins (*Fortunella* et *Poncirus*).

2.1. Origine

Les agrumes sont originaires du sud-est asiatique (Chine du Sud, Vietnam, Assam et nord de la Birmanie) mais les formes anciennes des *citrus* n'ont pas été retrouvées.
A partir de ces régions, ils ont été diffusés dans tous les continents entre l'équateur et les latitudes 40°-54° Nord et Sud. Les climats qui règnent dans les zones de grandes cultures (entre les latitudes 25° et 40°) sont sensiblement différents de ceux des centres d'origine.

2.2. Variétés et description

2.2.1. LES KUMQUATN ***(Fortunella species)***
C'est un arbrisseau à feuilles persistantes simples, à fleurs axillaires avec peu d'étamines. Fruits petits avec mésocarpe succulent (nombre de quartiers inférieur à 7). Le plus utilisé *F. Margarita* est à fruit ovale.

2.2.2. PONCIRUS TRIFOLIATA
C'est un arbrisseau épineux à feuilles caduques. Les fruits veloutés ne sont pas comestibles. Le *Poncirus trifoliata* est exclusivement utilisé comme porte-greffe.

2.2.3. CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES CITRUS (1)
Ce sont de petits arbres ou arbustes plus ou moins épineux de 5 à 10 m de haut, caractérisé par un feuillage persistant ordinairement de couleur vert foncé, brillant. Leurs fleurs, relativement petites et blanches (à pétales lavés de rose chez certaines espèces), d'odeur suave, sont produites en très grande abondance. Les fruits sont vivement colorés en orange, rouge ou jaune. L'ensemble de ces qualités confère une indéniable valeur décorative aux Citrus dont certaines variétés sont couramment utilisées comme arbres d'ornement.

2.2.3.1. **Les Orangers doux (*Citrus sinensis (L.) Obs.*)** : feuilles lancéolées à pétiole étroitement ailé. Fruit subglobuleux à épiderme orange ou rougeâtre. Pulpe juteuse, sucrée acidulée. Cotylédons en embryons blancs.

2.2.3.2. **Les Bigaradiers** (Orangers amers), ***Citrus aurantium* L.**, se distinguent des Orangers doux par leurs feuilles plus étroitement lancéolées et pointues à pétiole nettement ailé, leurs fruits à peau rugueuse et à pulpe acide et amère.
Le Bergamotier est une sous-espèce de *C. aurantium*.

(1) Le paragraphe 223 en entier est extrait de l'ouvrage « Les fruits tropicaux et subtropicaux » de J.F. Leroy, Coll. « Que sais-je ? » - Presses Universitaires de France, pages 61 à 63.

2.2.3.3. **Les Pamplemoussiers (*Citrus grandis (L.) obs.*)** sont des arbres qui peuvent atteindre et même dépasser 10 m de haut. Leurs feuilles sont grandes, ovales, à pétiole amplement ailé et pubescent. Les fleurs, de grandes dimensions, mesurent plus de 3 cm de diamètre et les fruits, de couleur jaune, à écorce épaisse, pouvant atteindre la taille de la tête d'un enfant, sont caractérisés par une pulpe grossière, un vide placentaire bien marqué et des pépins monoembryonnés.

2.2.3.4. **Le Pomélo** (Grapefruit) **(*Citrus paradisi Macf.*)** est originaire des Caraïbes où il a été reconnu au XVIIIe siècle. C'est une espèce satellite du ***Citrus grandis*** dont elle serait issue par mutation gemmaire ou hybridation. Le Grapefruit se distingue du Pamplemousse par un ensemble de caractères faciles à reconnaître : feuilles à pétiole plus étroitement ailé et glabre. Fruits produits en grappes, de taille nettement inférieure, à écorce plus fine. Pulpe tendre, juteuse. Pépins polyembryonnés. En France, sur les marchés, le pomélo (grapefruit) est souvent improprement appelé « pamplemousse ».

2.2.3.5. **Les Mandariniers (*Citrus reticula BL.*)** sont de petits arbres plus ou moins épineux, à feuilles étroitement à largement lancéolées. Leurs fruits globuleux, souvent aplatis aux deux pôles, ont une peau fine, non adhérente, de couleur orange ou rouge. La chair sucrée, habituellement bien parfumée, est très appréciée. Les pépins se particularisent par la couleur verte des embryons.

2.2.3.6. **Les Citronniers (*Citrus limon (L.) Burm.*)** sont des arbustes épineux à grandes feuilles ovales, vert pâle, avec un pétiole simplement marginé. Les jeunes pousses et boutons floraux sont lavés de pourpre. Les fruits ovoïdes, de couleur jaune, ont une pulpe fine, juteuse, acide.

2.2.3.7. **Les Cédratiers (*Citrus medica L.*)** ont en commun avec le Citronnier la couleur des fleurs et des bourgeons qui sont lavés de pourpre. Ils se distinguent des autres espèces par les pétioles non articulés de leurs grandes feuilles et l'épaisseur considérable de l'écorce des fruits volumineux.

2.2.3.8. **Les Limettiers (*Citrus aurantifolia (Chr.) Sw*)** sont des arbustes épineux à petites feuilles elliptiques vert pâle. Quelquefois, les boutons floraux sont légèrement lavés de pourpre. Les fruits subglobuleux ou ovales, de petite taille, ont une peau très fine, adhérente, de couleur jaune. La pulpe juteuse, très acide, se singularise par sa coloration verdâtre.

2.3. Multiplication

Les graines d'agrumes, à part quelques exceptions, se distinguent de celles de la plupart des autres végétaux par la présence de plusieurs embryons. Ces derniers sont de deux types génétiquement très différents selon qu'ils résultent de la fécondation de l'ovule ou qu'ils proviennent de cellules somatiques de nucelle, tissu maternel.

La reproduction par embryon nucellaire peut être considérée comme une propagation végétale naturelle donnant les mêmes résultats que la multiplication végétative artificielle telle que le greffage ou le bouturage qui répètent invariablement le type génétique de la plante mère.

Dénomination			Espèces	Caractéristiques	Utilisations
Anglais	Espagnol	Français			
Citron	Cidra	Cédratier	*Citrus medica L.*	Alledo très épais et peau verruqueuse	Fruits confits
Lemon	Limon	Citronnier	*Citrus limon* (L) Burm	Zeste odorant, pulpe acide	Fruits - Jus de fruits - Parfumerie
Lime ou "Key" lime	Lima	Lime acide	*C. aurantifolia* (Chr.) Sw.	Pulpe très acide	Jus de fruits et huiles essentielles
Sour Orange ou Bitter Orange	Naranja amarga, Najanga agria	Bigaradier Oranger amer	*C. aurantium L*	Épineux, pulpe amère, zeste aromatique	Porte-greffe production d'essences : fleur : néroli feuilles : petit grain fruits : essence de zeste de bigarade
Orange	Naranja	Oranger doux	*C. sinensis* (L) Osb.	Pulpe douce et parfumée	Fruits frais - Jus
Mandarin	Mandarina	Mandarinier	*C. reticulata BL*	Peau peu adhérente Pulpe douce et parfumée	Fruits - Jus
P u m m e l o Shaddock	Toronja	Pamplemoussier	*C. grandis* (L) Osb.	Peau épaisse, pulpe douce et amère	Fruits
Grape-fruit	Toronja	Pomelo	*C. paradisi* Macf.	Pulpe juteuse, acidulée, légèrement amère et parfumée	Fruits - Jus de fruits

En autopollinisation et dans les croisements entre variétés voisines, au cours de la compétition entre les divers embryons, l'embryon zygotique avorté ou non développé est nettement supplanté par celui des embryons nucellaires plus vigoureux. Chez les agrumes, dans les croisements, on considère comme une règle bien établie que la vigueur des hybrides décroît quand les parents sont génétiquement proches et augmente en proportion de leur éloignement.

Les virus et les mycoplasmes connus ne sont pas transmis par des graines d'agrumes à part de rares exceptions.

L'obtention de lignées nucellaires permet donc la régénération sanitaire de vieux cultivars atteints de virus et de mycoplasmes. Cependant, les jeunes lignées, bien qu'elles soient de même constitution génétique que les plantes mères, s'en distinguent par certains caractères appelés « Juvéniles » (épines par exemple) qui s'atténuent avec l'âge et surtout par une propagation végétative répétée.

3. ÉCOLOGIE

Entre l'équateur et les latitudes 40-45° Nord et Sud, les agrumes sont cultivés dans une gamme très variée de climats : intertropicaux très humides et secs, tempérés, méridionaux.

3.1. La température

La culture des agrumes est possible partout où la température moyenne de l'année est supérieure à 13° C et inférieure à 39°C.

Pour la température maximale, il faut tenir compte du seuil de 50-52°C.

En ce qui concerne la température minimale, le seuil de résistance au froid dépend à la fois de l'époque à laquelle le gel se produit, c'est-à-dire de l'état physiologique des arbres, de l'organe considéré, de l'espèce, de la variété et de la durée du froid.

En fait, les agrumes ont une résistance au froid bien supérieure à celle qui leur est généralement attribuée.

La destruction totale de la plante intervient généralement à – 8° C pour le citronnier, à – 9° – 10° C pour l'oranger et à – 12° C pour le mandarinier.

Les températures comprises entre 0° et 12° C ont un effet important sur la qualité des fruits : en effet l'absence de température inférieure à 12° C modifie la coloration, l'équilibre des sucres et de l'acidité. C'est ainsi qu'en climat tropical les oranges restent vertes. Le jus lui-même est moins coloré.

Quant à la limite supérieure des températures optimales, on peut la fixer à 36° C et la somme des températures des 12 mois (température moyenne mensuelle – 12° C 8 x nombre de jours de chaque mois), requise pour une végétation et une maturation normales des fruits, à un minimum de 1 500° C.

3.2. La pluviosité

120 mm par mois représente une quantité d'eau au-dessous de laquelle la culture des agrumes exige le recours à l'irrigation.

Mais il faut aussi tenir compte de la répartition des chutes de pluie, de leur intensité aux différentes saisons et enfin de l'évapo-transpiration potentielle.

APTITUDES DES PORTE-GREFFE DES AGRUMES :

I. - SENSIBILITÉ À LA GOMMOSE ET AUX MALADIES À VIRUS

PORTE-GREFFE	GOMMOSE À PHYTOPHTHORA	TRISTEZA	CACHEXIE XYLOPOROSE	EXOCORTIS
Bigaradier	Résistant	Très sensible (1)	Tolérant	Tolérant
Mand. Cléopâtre	Résistant ou sensible (6)	Tolérant	Tolérant (4)	Tolérant
Poncirus trifoliata	Résistant	Tolérant	Tolérant	Très sensible
Citrange « Troyer »	Résistant	Tolérant	Tolérant	Sensible
Citrange « Carrizo »	Résistant	Tolérant	Tolérant	Sensible
Oranger de semis	Sensible	Tolérant	Tolérant	Tolérant
Limette douce de Palestine	Sensible	Sensible (2)	Sensible	Sensible
Lime Rangpur	Sensible	Tolérant	Sensible	Sensible
Rough lemon	Très sensible	Tolérant (3)	Tolérant	Tolérant
Citrus taïwanica	Résistant	Tolérant	Tolérant	Tolérant
Citrus macrophylla	Résistant	Sensible (5)	Sensible	Tolérant
Citrus volkameriana	Résistant	Tolérant	?	Tolérant
Citrus junos (Yuzu)	Résistant	Tolérant	?	Tolérant

(1) Le bigaradier non greffé est tolérant à la Tristeza, mais les associations qu'il constitue lorsqu'il est greffé sont sensibles à cette maladie (exception : la combinaison Citronnier/Bigaradier résiste à la Tristeza).
(2) Jusqu'en 1963 ce porte-greffe était considéré comme résistant à la Tristeza, mais des observations récentes ont mis en évidence sa sensibilité, au moins lorsque les arbres atteignent un certain âge.
(3) En présence de Tristeza, le Rough lemon manifeste parfois du stem pitting, mais les combinaisons restent viables.
(4) Des cas de Xyloporose auraient été rencontrés. Pour certains auteurs, le mandarinier Cléopâtre est sensible à la Cachexie-Xyloporose, pour d'autres il est tolérant.
(5) Greffé en citronnier, il ne contracte pas la Tristeza, s'il n'y a pas eu de contamination avant greffage et s'il n'y a pas contamination des gourmands émis sur le tronc du porte-greffe.
Procéder à leur ablation dès qu'ils se présentent.
(6) Sensible au ***Phytophthora parasitica***, mais résistant au ***Phytophthora citrophthora***.
Source : INRA-IRFA (Corse).

II. - APTITUDES ÉDAPHIQUES ET FACILITÉS DE MULTIPLICATION

PORTE-GREFFE	RÉSISTANCE EN TERRES HUMIDES	RÉSISTANCE EN TERRES SÈCHES	RÉSISTANCE AU CALCAIRE	RÉSISTANCE AUX CHLORURES	MULTIPLICATION	
					Semis	Greffage
Bigaradier	Faible	Moyenne	Élevée	Faible	Facile	Très facile
Mand. Cléopâtre	Faible	Moyenne	Moyenne	Élevée	Précautions particulières à prendre	Précautions particulières à prendre
Poncirus trifoliata	Moyenne à élevée	Faible	Faible (2)	Faible	(3)	(5)
Citrange Troyer	Moyenne	Faible à moyenne	Faible à moyenne	Faible		
Citrange Carrizo	»	»	»	Faible		
Oranger de semis	Faible	moyenne	moyenne	»	Facile (4)	Très facile
Limette douce de Palestine	Très faible	Moyenne	Moyenne	Faible	Facile (4)	Facile
Lime Rangpur	Faible	Élevée (1)	Moyenne à élevée	Élevée	Facile (4)	Assez facile
Rough lemon	Très faible	Moyenne	Moyenne	Faible	Facile (4)	Difficile
Citrus taïwanica	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Faible	Facile	Facile
Citrus macrophylla	Moyenne	?	Moyenne à élevée	Élevée	Facile	Facile
Citrus volkameriana	Moyenne	?	?	Moyenne	Facile	Facile
Citrus junos (Yuzu)	?	Élevée	Faible (6)	Moyenne	Facile	Facile

(1) Au Brésil, la lime Rangpur est considérée comme le porte-greffe le plus résistant à la sécheresse.
(2) Franc de pied le *Poncirus* est très résistant au calcaire : greffé, il constitue une association très sensible (apparition de chlorose). Cependant dans les terres très acides (pH voisin de 5) les arbres (surtout les clémentiniers) greffés sur *Poncirus* montrent des symptômes foliaires de toxicité (observations faites en Corse).
(3) Les graines de tous les *Citrus* perdent rapidement leur faculté germinative après dessication. C'est particulièrement vrai pour celles de *Poncirus* et de Citrange. Les semis de Mand. Cléopâtre sont délicats : il faut semer de grosses graines dans un sol parfaitement préparé. De plus, les plantules de Mand. Cléopâtre sont très sensibles à la fonte des semis.
(4) Les plantules de ces porte-greffe sont également sensibles à la fonte des semis.
(5) Mand. Cléopâtre : ne pas attendre que les sujets soient en pleine sève.
Poncirus et Citrange : il semble que le greffage bas, à 15-20 cm de hauteur, donne les meilleurs résultats, mais il faut prendre des précautions contre la gommose.

Source : INRA-IFRA (Corse).

III. - APTITUDES PHYSIOLOGIQUES CONFÉRÉES AU GREFFON

PORTE-GREFFE	RÉSISTANCE AU FROID	VIGUEUR	PRODUCTIVITÉ	MISE A FRUITS	ÉPOQUE DE MATURITÉ	QUALITÉ DES FRUITS
Bigaradier	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Mand. Cléopâtre	Assez élevée	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Poncirus trifoliata (4)	Élevée	Moyenne (1)	Élevée	Très rapide	Avancée	Améliorée
Citrange Troyer	Assez élevée	Moyenne (1)	Élevée	Rapide	Avancée	Améliorée
Citrange Carrizo	Assez élevée	Moyenne (1)	Élevée	Rapide	Avancée	Améliorée
Oranger de semis	Moyenne	Grande	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Limette douce de Palestine	Très faible	Faible	Élevée	Rapide	Avancée	Diminuée (2)
Lime Rangpur	Faible	Moyenne (1)	Moyenne	Rapide	Moyenne	Moyenne
Rough lemon	Faible	Très grande	Très élevée	Lente	Retardée	Diminuée (3)
Citrus taïwanica	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Citrus macrophylla	Faible	Grande	Grande	Moyenne	Moyenne	Diminuée
Citrus volkameriana	Faible	Grande	Grande	Moyenne	Moyenne	Diminuée (3)
Citrus junos (Yuzu)	Élevée	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne	Améliorée

(1) On a reproché à ces porte-greffe de conférer une faible vigueur. Dans la plupart des cas, le nanisme observé était dû à l'*Exocortis*. En l'absence de cette maladie, les arbres greffés sur *Poncirus*, Citrange « Troyer », Citrange « Carrizo » et lime « Rangpur » ont une vigueur normale. Toutefois, des cas de nanisme sont parfois observés sur les arbres greffés sur *Poncirus* : le facteur qui provoque ce nanisme ne semble pas toujours lié à l'*Exocortis*.
(2) Cependant pour l'oranger Shamouti, ce porte-greffe améliorera la tenue des fruits sur l'arbre.
(3) Réduction importante de la teneur des jus en extrait soluble et en acidité.
(4) Il existe de nombreux clones de *Poncirus* : clones à grandes fleurs, à petites fleurs, à fleurs intermédiaires.

3.3. Les sols

Ils doivent être profonds et de préférence légers (sablo-argileux ou argilo-sableux). Les sols lourds, s'ils sont bien drainés, peuvent convenir. Les agrumes redoutent les eaux salines (au-dessus de 0,5 %). Le pH optimum est de l'ordre de 6 à 7,5.

4. CULTURE

La pratique du greffage est la méthode la plus couramment utilisée pour reproduire fidèlement les variétés, activer la mise à fruits et lutter contre la gommose à phytophtora (les francs de pied sont particulièrement sensibles à cette maladie).

On a d'abord adopté le bigaradier comme porte-greffe, mais il est sensible à la tristeza. On utilise actuellement divers porte-greffe suivant leurs aptitudes et leur résistance.

Le greffage se fait généralement par écusson à 30 cm du sol dans l'année de transplantation en zone tropicale, un an après en zone méditerranéenne. Trois semaines après, les plantes dont la greffe a réussi sont recepées à quelques centimètres au-dessus du greffon.

4.1. Semis des porte-greffe

En germoir 2 ou 3 cm x 20 cm.

1 kg de graines : 2 000 à 3 000 plants.

Levée en 15 à 25 jours. Six ou neufs mois après, on repique en pépinières, à 0,40 x 0,80 d'espacement.

4.2. Plantation

Si on ne fait pas un défoncement à plein à 70 à 80 cm de profondeur, la mise en place a lieu dans des trous de 1 m^3 aux espacements suivants :

— Orangers : 5 m x 7 m à 6 m x 8 m densité/ha 280 à 200.

— Pomelo ou grape-fruit : 6 m x 8 m à 7 m x 9 m : densité/ha 280 à 160.

— Mandariniers : comme les orangers.

— Citronniers : comme les pomelos.

En zone méditerranéenne, on emploi fréquemment des densités de 400 avec des espacements de 6 x 4.

4.3. Entretien

Les deux premières années de plantation sont primordiales : enlèvement des gourmands, taille de formation, fertilisation, protection contre les chenilles, cochenilles et acariens. Façons culturales superficielles. L'eau d'irrigation ne doit pas mouiller le collet (risque de gommose) ; adopter le principe de la double cuvette.

4.4. Taille

Taille de formation : on décapite la tige principale à 0,60 – 0,80 m du sol. On conserve 3 à 5 branches de charpente et on pince les autres rameaux.

Taille d'entretien : on supprime le rameaux épuisés, les branchettes mal placées, les gourmands, sauf pour combler les vides ; on aide les branches à allonger plutôt qu'à se ramifier ; essayer toutefois de garder les arbres aussi bas que possible.

Exportation des récoltes en N P K Ca (kg) par tonne de fruits

	N	P	K	Ca
Oranges.....	1,200 à 1,400	0,1600 à 0,280	2,000 à 2,400	0,600 à 1,100

Les besoins en azote sont particulièrement importants à la floraison. On constate parfois des carences en oligo-éléments : Mg, Cu, Zn, Mn, B, Fe, Mo, que le diagnostic foliaire permet de déceler.

Engrais employés de préférence : ammonitrate, urée, sulftate d'ammoniaque, superphosphate, scories, sulfate et chlorure de potasse. Les chaulages sont indispensables à pH inférieur à 5. Les formules de fumure peuvent être très variables suivant le sol, le climat, les variétés et les porte-greffe.

4.5. Récolte et rendements

Première récolte 3-4 ans après la plantation des arbres.

L'appréciation de la maturité des agrumes repose sur 4 critères : la couleur de la peau, la teneur du fruit en jus, l'extrait soluble et l'acidité, et le rapport ES/A.

Certaines variétés hâtives (navel, clémentine) peuvent atteindre la maturité interne sans que la coloration requise soit obtenue. On procède alors au déverdissage par un séjour de 24 à 48 h en atmosphère éthylènée, provoquant la dégradation de la chlorophylle, et faisant apparaître la coloration naturelle due aux caroténoïdes.

Les agrumes produisent en moyenne 20 à 30 t de fruits à l'hectare, mais il n'est pas rare d'enregistrer des récoltes de 40 et même 60 t/ha dans des orangeraies cultivées d'une façon intensive dans des milieux très favorables aux ***citrus.***

5. MALADIES ET ENNEMIS

5.1. Sur jeunes plants

Pucerons	Vecteurs de la tristeza	Aphicides spécifiques
Chenilles		Endrine ou arséniate + mouillant
Criquets		Dieldrine
Cochenilles		Huiles blanches et ester phosphorique
Scab.	Galle du bigaradier	Pulvérisations cupriques

5.2. Sur plantations

Nématodes		Nermaticides
Anthracnose	Dessèchement des jeunes pousses	Pulvérisations cupriques
Gommose	Causée par Phyto-phthora et mauvais drainage	Porte-greffe adapté Curetage et désinfection des plaies
Acariens		Acaricides

Pucerons et cochenilles comme sur les jeunes plants.

Il existe chez les agrumes de nombreuses maladies à virus et à mycoplasmes dont les principales sont : *tristeza, psorosea, exocortis, « cachexie-xylopsorose »* et stubborn (Mycoplasme).

En présence de *tristeza*, il faut éviter des porte-greffe tolérants à la maladie. On évite la psorose, la *« cachexie xylopsorose »* et l'*exocortis* en utilisant des greffons prélevés sur des arbres sains. L'*exocortis* peut être transmis par les outils de taille et de cueillette (désinfection des parties courantes avec de l'eau de Javel).

5.3. Sur fruits

Scab, mélanose, anthracnose	Maladies fongiques de l'épiderme Cuivre, benlate, difolatom
Acariens, thrips	Lésion liégeuse de l'épiderme Soufre, acaricides
Mouche des fruits	Destruction des fruits attaqués Pulvérisation hydralynat de protéines + malathion
Après récolte Pourriture des fruits (Penicillium)	Orthophenyl phenal benzimidazole

6. TECHNOLOGIE

6.1. Utilisation des produits frais

Les agrumes présentent une grande valeur alimentaire (vitaminique essentiellement) comme le montre le tableau suivant, établi pour 100 g de matière comestible (extrait du tableau n° XXXVII du livre de M. J.C. Praloran et coll. « Les Agrumes », Maisonneuve et Larose).

		Citron	Mandarine	Orange
Eau %		87,4	87	86,0
Calories	- Cal	20	46	49
Protéines	- g	1,2	0,8	1,0
Lipides	- g	0,3	0,2	0,2
Glucides	- g	10,7	11,6	12,2
Cendres	- g	0,4	0,4	0,6
Ca	- g	61	40	41
P	- g	15	18	20
Fe	- g	0,7	0,4	0,4
Na	- g	3	2	1
K	- g	145	126	200
Vita. A	(u.I.)	30	420	200
Vit. B1	- g	0,05	0,06	0,10
Vit. B2	- g	0,04	0,02	0,04
Niacine	- g	0,20	0,10	0,40
Vit. C	- g	77,0	31,0	50,0

Les fruits récoltés et grossièrement triés sur la plantation sont transportés en caisses de bois ou de plastique contenant environ 40 kg de fruits jusqu'aux stations d'emballage d'où ils ressortiront prêts pour l'exportation.

La chaîne de conditionnement réalise successivement les opérations suivantes : lavage, trempage fongicide, application de cire, lustrage, calibrage et emballage.

Les principales variétés commerciales sont :

Oranges : Thompson navel, Washington navel, Valencialate, Maltaise, Jaffa, Sanguine.

Mandarines : Commune, Clémentine, Wilking.

Pomelos : Marsh, Thompson.

Citrons : Euréka, 4 saisons, Lisbonne.

Tangelos : Minneola, Sampson, Séminole, Orlando.

6.2. Les produits transformés des agrumes

Actuellement, on estime que la transformation absorbe de 20 à 40 % de la production commercialisée de fruits (20 % pour les citrons, 30 % pour les oranges et 40 % pour les pomelos). Il y a : les jus.

Leur conservation a toujours posé des problèmes, on distingue :

— les jus appertisés ;
— les jus refroidis (aux USA) ;
— les jus emballés aseptiquement (bocal en verre) ;
— les jus reconstitués à partir de concentrés,
  • les concentrés,
  • les produits déshydratés,
  • les conserves,
  • les confitures (conservation par le sucre).

6.3. Les huiles essentielles d'agrumes

L'extraction des essences peut se faire :
— à partir des feuilles, on parle alors d'essence de petit grain (le bigaradier en fournit la plus grande partie) ;
— à partir des fleurs, on parle alors d'essence de néroli (extraits du bigaradier) ;
— à partir des fruits. Ce sont les essences de fruit qui ont le plus grand intérêt économique. Les rendements varient de 3 à 6 kg d'essence par tonne de fruit.

Volatiles et odorantes, les huiles essentielles trouvent leur utilisation en parfumerie et dans les industries alimentaires et pharmaceutiques.

6.4. Sous-produits

Bien souvent une usine tire autant de profit des sous-produits que des quelques produits classiques comme le jus ou la confiture.

Citons :
— les aliments du bétail : écorces séchées, mélasses, aliments composés ;
— les huiles de pépins (riches en graisse non saturées, elles semblent avoir un avenir diététique) ;
— les pectines ;
— l'acide citrique ;
— des produits chimiques (flovonoïdes, vitamines, ...).

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps des travaux (jt/ha) :

7.1.1. TRAVAIL MANUEL (matériel à traction animale)

	Homme	Attelage
Culture engrais vert	24	14
Fumure	20	10
Irrigation	18	
Lutte antiparasitaire	15	4
Taille	30	
Récolte	72	
Transport	24	12
Divers	24	
TOTAL	227	40

7.1.2. EN AGRICULTURE MÉCANISÉE

(pour 1 ha, calculé pour une plantation de 20 ha)

Nature du travail	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7
Pulvérisage sol	7 h	9 h	9 h	9 h	8 h	8 h	8 h
Épandage engrais	2 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h
Confection rigoles	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h
Irrigation par rigole	24 j	18 j	15 j	12 j	12 j	12 j	12 j
Irrigation par aspersion	—	—	24 h	24 h	24 h	24 h	24 h
Taille de formation et d'entretien	4 h	2 j	4 j	10 j	12 j	20 j	30 j
Lutte antiparasitaire							
– contre cochenille	4 h	1 j	1 j	2 j	3 j	4 j	4 j
– contre insectes	4 h	4 h	6 h	1 j	1j$^{1/2}$	2 j	2 j
– contre mouche des fruits	—	—	—	1/2 h	1 h	1 h	2 h
– contre *phytophthora*	—	—	—	1h$^{1/2}$	2 h	2h$^{1/2}$	2h$^{1/2}$
Récolte (20 t/ha)	—	—	4 j	10 j	30 j	40 j	60 j
Transport	—	—	1 j	3 j	10 j	13 j	20 j
Travaux divers	1 j	1 j	1 j	2 j	2 j	3 j	3 j
TOTAL	28 j	25 j	32 j	46 j	76 j	100 j	133 j

D'après tableau n° XXXVI du livre de J.C. Praloran.
N.B. : 1 j = 8 h

7.2. Production agrumes 1985 (en milliers de tonnes)

CONTINENTS	Oranges	Mandarines	Citrons	Pomelos
Amérique du Nord et centrale	9 022	589	1 700	2 345
Amérique du Sud	16 362	866	750	295
Asie	7 151	3 861	1 240	1 033
URSS	345	—	—	—
Europe	4 514	1 552	1 388	28
Afrique	3 489	596	344	322
Océanie	405	34	39	37
Total mondial	41 288	7 499	5 461	4 060

Prod. Rang.	Oranges		Mandarines		Citrons		Pomelos	
1	Brésil	14 199	Japon	2 494	U.S.A	951	U.S.A	2 038
2	U.S.A	6 095	Espagne	1 034	Italie	755	Israël*	380
3	Mexique F	2 000	Brésil	450	Mexique	603	Thaïlande F	240
4	Espagne	1 884	Italie	420	Espagne	454	Chine F	172
5	Italie	1 850	U.S.A	406	Inde	450	Cuba F	152

F : estimation FAO - * : données non officielles

7.3. Commerce 1985 en milliers de tonnes

Rang	PAYS	Exportation	PAYS	Importation
1	Espagne	1 406	France	800
2	Maroc	526	R.F.A.	696
3	U.S.A	412	Royaume-Uni	406
4	Japon	408	Pays-Bas	393
5	Cuba	271	U.R.S.S.	366

ANACARDIER

Anacardiacée — **Cashew**
Anacardium occidentale — **Marañon**

1. BUTS DE LA CULTURE

Outre son intérêt sur le plan forestier, l'anacardier est de plus en plus cultivé pour son fruit, la noix de cajou, qui donne deux produits principaux :

— l'amande cajou, comestible, est utilisée dans toute une série d'industries alimentaires : friandises de cocktail, chocolaterie, nougat, pâtisserie, biscuiterie, crèmes glacées, etc.
Cette amande sert également à préparer du beurre d'anacarde,

— le baume de cajou est extrait de la coque entourant l'amande. Il s'agit d'une résine phénolique aux propriétés uniques, utilisée dans la fabrication des éléments de friction (freins, embrayages), des caoutchoucs et revêtements spéciaux, des isolants, des matières plastiques, etc.
On peut aussi utiliser le baume de cajou pour ses propriétés médicales, insecticides et imperméabilisantes.
C'est un produit très corrosif qu'il ne faut pas manipuler à mains nues, sans protection des yeux.

En outre, le fruit de l'anacardier est surmonté par un faux-fruit, appelé pomme-cajou que l'on peut consommer. Il est très juteux, sucré, légèrement parfumé et acide et très riche en vitamine C.

La pomme cajou est utilisée pour la fabrication de jus de fruits ou d'alcool.

2. BOTANIQUE

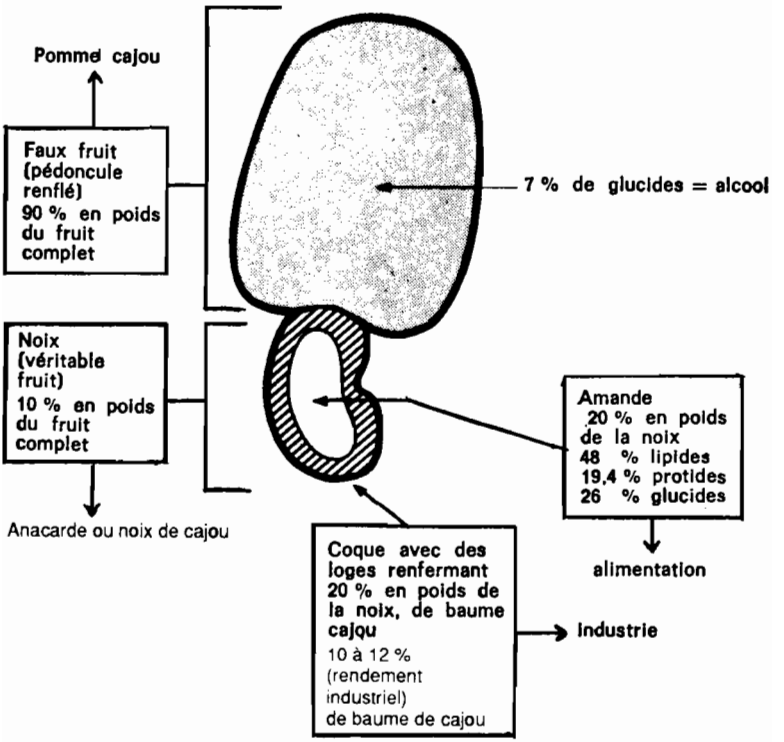
Origine et caractères.

L'anacardier est originaire du Brésil. C'est un arbre à racine pivotante.

La fructification s'effectue en deux stades. C'est le vrai fruit, ou noix de cajou, qui se développe en premier lieu. Ce n'est que lorsque cette noix a atteint son volume maximum (en 30-35 jours) que le pédoncule, qui jusque là était normal, se met à se développer considérablement et très rapidement, devenant charnu et se transformant ainsi en une pomme cajou, tandis que la noix perdant de l'humidité diminue de volume et durcit.

La durée du cycle végétatif de l'anacardier est de 20-30 ans en moyenne. La phase de floraison commence vers l'âge de 2-3 ans. La pleine floraison se situe vers la 7e année. Lorsque l'arbre est trop vieux, il exsude une gomme et devient improductif.

SCHÉMA DES UTILISATIONS DU FRUIT D'ANACARDIER



3. ÉCOLOGIE

Résistant aux fortes chaleurs de la zone soudano-guinéenne,il est très sensible aux baisses de température, aussi le trouve-t-on généralement à une altitude inférieure à 500 m (parfois jusqu'à 1 000 m en situations privilégiées et chaudes).

Il accepte des pluviosités de 500 à 4 000 mm par an et des sols très variés mais toujours bien drainés, sableux de préférence.

Ses exigences varient suivant l'usage : faibles pour le reboisement (conservation des sols), elles deviennent plus grande en exploitation fruitière : au minimum 800 mm de pluies et 4 mois de saison sèche.

4. CULTURE

4.1. Multiplication

La multiplication se fait par semis en place, en poquets de 2 à 3 noix préalablement triées (ne flottant pas sur l'eau). La durée de germination est de 2 à 3 semaines.

Le démariage intervient au plus tard 1 an après le semis.

On peut aussi semer en pépinière en paniers ou en sachets de polyéthylène.

La fragilité des semis impose des précautions.

La culture proprement dite peut se faire de deux manières :

— 1ère méthode

Association avec cultures vivrières (arachide), plantation à 8 m x 8 m en général, parfois 6 m x 6 m ou 13 m x 13 m. Les soins et le contrôle accordés à la culture protègent les jeunes anacardiers jusqu'à couverture du sol.

— 2e méthode

En culture fruitière, on préconise des écartements de 8 x 8 à 14 x 14 m.

Le semis se fait par poquets à 5 x 5 m (3 graines par poquet).

— L'année V on éclaircit en quinconce (un arbre sur deux sur chaque ligne, en alternance) : 10 x 5 m.

— L'année X on éclaircit une ligne sur deux : 10 x 10 m.

4.2. Fertilisation

Pour la fertilisation, bien que rustique, l'anacardier répond très bien aux fumures.

En plantation industrielle, la fumure augmente la rapidité de développement, la mise à fruit et le rendement.

On peut apporter par trou de plantation :

— en fumure organique : 20 kg de bon fumier,

— en fumure minérale : 300 g de 11-22-16,

qui seront apportés chaque année pendant les 2 premières années au moins.

4.3. Rendements en noix à l'hectare :

5 ans ..... 150 kg
10 ans ..... 500 kg
15 ans ..... 860 - 1 000 kg

A 20 ans, on obtient les rendements maxima : 1 500 à 2 000 kg de noix (10 kg/arbre) et 15 à 20 t de pommes cajou à l'hectare (2 000 fruits par arbre).

5. MALADIES ET ENNEMIS

Il n'existe pas de maladie importante.

Quant aux ennemis, s'ils sont relativement peu nombreux, les dégâts provoqués par certains d'entre eux peuvent être graves.

Citons par ordre d'importance décroissante :

— les chenilles dévoreuses de feuilles (Eutélia)
— les chenilles enrouleuses de feuilles (Sylepta)
— les cochenilles, les thrips, les Flatides qui piquent les feuilles
— puis les rats qui consomment les noix avant leur ramassage ou celles que l'on vient de mettre en terre lors des semis.

Aussi les phacochères qui retournent le sol et bouleversent l'emplacement des semis ou des jeunes plantations.

Les boeufs qui piétinent les jeunes arbres et peuvent ainsi provoquer de graves dégâts dans les nouvelles plantations.

Enfin, les singes peuvent être néfastes en période de récolte.

6. TECHNOLOGIE

6.1. Préparation

— Préparation manuelle :
- Réhumidification (de quelques minutes à 8-10 heures, selon conditions climatiques et âge des noix).
- Chauffage-grillage, durée : 1-2 mn (3 t/jour à 2 hommes) (phase dangereuse, risques de brûlures par le baume).
- Concassage + décorticage manuel : 6 à 9 kg d'amandes entières par jour, 5 à 15 % de brisées.
- Séchage pour mondage : 10 à 12 heures à 90°-90°.
- Mondage : 6-12 kg/jour d'amandes sèches.
- Maintien en chambre climatisée à 50 % d'humidité relative jusqu'au :
- Triage : 25 à 27 kg/jour à Madagascar (45-68 kg/j aux Indes).
- Emballage.

— Procédé industriel :

Unité minimum d'usinage : 1 500 t/an de noix, soit 1 000-1 200 ha en pleine production.
- Réhumidification : trempage pendant une heure (sa durée dépend de la saison et de l'état des noix).

- Grillage par séjour de 90 secondes (Inde) dans un bain de baume à 185° C (température de travail).
- Refroidissement - Égouttage.
- Ensuite traitement identique au procédé artisanal (nécessitant une grande quantité de main-d'oeuvre : 300 à 350 ouvriers par unité).

On cherche de plus en plus à mécaniser le décorticage des noix.

6.2. Suite des opérations pour l'extraction des amandes

Noix de cajou

séchage au soleil	→ noix de cajou sèches
nettoyage	→ noix de cajou propres + impuretés
réhumidification	→ noix de cajou gorgées d'eau
grillage	→ noix de cajou grillées + baume cajou
essorage	→ noix de cajou sans traces de baume
concassage	→ amandes cajou + débris de coques
séchage	→ amandes cajou sèches
mondage	→ amandes cajou + débris de pellicules
triage	→ catégories d'amandes cajou

emballage des amandes triées dans des bidons de 18 l.

Amandes cajou

6.3. Suite des opérations pour la préparation des « kikou »

Amandes cajou

cuisson	→ amandes cuites
égouttage	→ amandes cuites égouttées
salage ou pimentage	→ amandes préparées

emballage dans des boîtes de 150 g

« Kikou »

6.4. Suite des opérations pour la récupération du baume

Coques

broyage	→ coques broyées
extraction	→ émulsion de baume dans de l'eau
décantation	→ baume + eau + boues
filtration	→ baume limpide

Baume cajou

6.5. Résultats

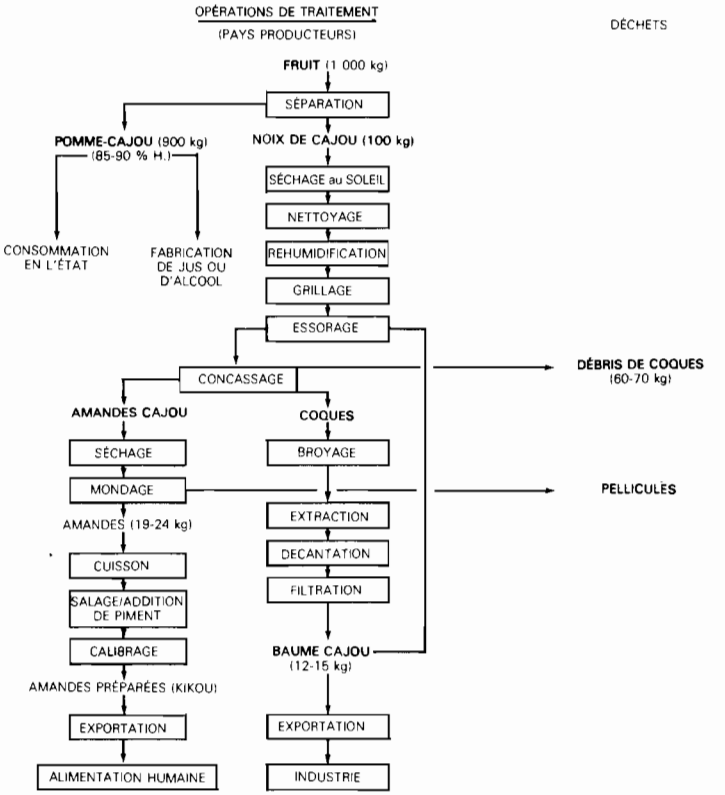
100 kg de noix brutes donnent de 10 à 24 kg d'amandes dépelliculées exportables, suivant le calibre des noix et leur âge.

100 kg de noix brutes donnent environ 12 à 15 kg de baume.

6.6. Valeur alimentaire

Faux-fruits (ou pommes) :

ANACARDIER
SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



H Humidité (sur poids total)

eau : 85 à 90 %
glucides : 7 à 13 %
protides : 0,7 à 0,9 %
sels minéraux : 0,2 %
lipides : 0,1 %
vitamines : très nombreuses surtout pour les vitamines C (9 fois plus que dans les oranges douces).

La pomme cajou est donc un fruit intéressant qu'il ne faut pas laisser perdre (jus, pommes séchées, alcool, ...).

Amandes :
lipides : 45 %
glucides : 26 %
protides : 21 %
eau : 5,5 %
sels minéraux : 2,5 %
vitamines : nombreuses (A-B1-B2-B6-PP-E).

Les amandes renferment donc un grand nombre de substances nourrissantes, surtout en lipides et en protéines et elles peuvent devenir un appoint alimentaire fort utile.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (jt/ha) :

Culture manuelle :
Plantation et entretien 1ère année 50 j
entretien 2e année 16 j
entretien 3e année 8 j

7.2. Production Anacarde 1985

CONTINENTS	Production en tonnes
Amérique du Nord et centrale	3 144
Amérique du Sud	115 000
Asie	180 740
Afrique	138 180
Total mondial	437 034

Rang	PAYS	Production en tonnes
1	Inde	160 000
2	Brésil *	115 000
3	Tanzanie	45 000
4	Nigeria	37 000
5	Mozambique	25 000

* données non officielles

ANANAS

Broméliacée **Pineapple**
Ananas **Pina**

1. BUTS DE LA CULTURE

L'ananas est essentiellement cultivé pour son fruit.

Le fruit frais contient des vitamines A et B et a une action digestive. Il est consommé au naturel ou utilisé pour la fabrication de conserves.

Le jus de fruit peut être consommé à l'état pur ou sous forme de sirop, vin d'ananas, vinaigre : il entre dans la fabrication de boissons gazeuses et de liqueurs ; on en extrait l'acide citrique et certains produits pharmaceutiques (contre diphtérie et bronchite entre autres).

Les feuilles hachées à l'état frais, ainsi que les couronnes, peuvent être utilisées dans l'alimentation du bétail.

La plante entière peut être réduite en farine entrant dans la composition d'aliments du bétail. On en extrait de l'amidon, des acides organiques, de la cire, des stérols et la bromélaïne mélange d'enzymes facilitant la digestion.

2. BOTANIQUE

Tous les cultivars appartiennent à l'espèce *Ananas comosus* originaire d'Amérique du Sud comme toutes les espèces de Broméliacées.

2.1. Description

L'ananas est une plante herbacée pérenne à enracinement superficiel ; la tige, à entre-noeuds très rapprochés, porte des feuilles épaisses en forme de gouttières, groupées en rosette d'où émerge l'inflorescence portée par un pédoncule.

La partie charnue appelée « fruit » est formée par le développement parthénocarpique de l'ovaire, de la bractée et des sépales des nombreuses fleurs normalement stériles portées par l'axe de l'inflorescence (coeur). Au-dessus du fruit se développe le bourgeon terminal (couronne). La multiplication végétative est assurée par les rejets parmi lesquels on distingue, selon l'endroit où ils naissent sur la plante, de bas en haut :

— les cayeux de base de tige ou souterrains ;
— les cayeux naissant sur la tige :
- les hapas (naissant à la jonction de la tige et du pédoncule),
- les bulbilles (naissant sur le pédoncule fructifère) ;
- la couronne (au sommet du fruit).

2.2. Classification

Le genre ananas comprend plusieurs espèces : *A. bracteatus, A. ananassoïdes, A. erectifolius, A. comosus*. De cette dernière sont issues toutes les

Classification de l'espèce *A. comosus* (voir 2.2.)

Groupe	Feuilles	Fleurs	Fruit	Couronne	Rejets	Maladies	Exportation
Cayenne (Cayenne : le plus connu et le plus cultivé)	Inermes sauf quelques-épines à l'extrémité, larges de 6,5 cm, longues de 80-100 cm. Nombre 60 à 80	Nombre : 150 pétales bleu-pâle	Cylindrique, orangé-rouge à maturité, chair jaune pâle. Sucre et acidité élevés. Poids moyen 2 kg	Importante, habituellement unique	Bulbilles : 0 à 10, cayeux : 1 à 3	Sensibilité aux maladies dont le "Wilt"	Très bon pour exportation en frais et conserve
Queen	Plus courtes épineuses	Couleur : lilas	Poids moyen : 1,3 kg ; jaune or à maturité. Arôme plus prononcé	Moins développée	Bulbilles et cayeux plus nombreux	Moins sensible	Exportation en frais
Spanish (Red spanish)	Longues : 1,20 m, étroites	Couleur : lilas	Presque aussi large que haut. Poids moyen : 1,5 kg. Peau épaisse, rouge orangé à maturité et chair jaune pâle.	Couronne centrale + d'autres de petite dimension	Bulbilles nombreuses, cayeux : 1 à 3	Peu sensible	Exportation en frais
Abacaxi	Feuilles longues bordées d'épines	Couleur : lilas	Pyramidal. Yeux petits. Poids moyen 1,5 kg. Chair blanchâtre.	Souvent plusieurs couronnes	Nombreuses bulbilles	Peu sensible	Mauvais pour conserve. Peu exporté.
Perolera	Inermes à liseré argenté épaissi	Couleur : lilas	Cylindrique. Chair ferme, orangée à maturité.	Souvent plusieurs couronnes	Souvent nombreuses	Peu sensible	Bon pour l'exportation

variétés ou cultivars actuellement utilisés. Ils sont classés en cinq groupes : Cayenne, Queen, Spanish, Abacaxis, Perolera (voir tableau).

3. ÉCOLOGIE

3.1. Besoins en chaleur

La température est le principal facteur qui agit sur le développement de l'ananas.

Température idéale moyenne : 25° C avec amplitudes journalières moyennes de 12° C.

Si la température est trop basse, en plus du faible développement de la plante, on constate un brunissement de la chair qui lui communique un goût amer (comparable à l'affection que l'on constate à certaines époques de l'année sur les fruits stockés au froid).

Si la température est trop élevée, la qualité des fruits baisse (fruits jaunes) : (températures supérieures à 35° C).

3.2. Besoins en eau

L'ananas est peu exigeant. Il lui faut environ 1 200 à 1 500 mm bien répartis au long de l'année (besoins théoriques environ 2 à 4 mm/jour).

3.3. Besoins en lumière

L'éclairement a une action sur les rendements, la coloration de la peau et les caractéristiques organoleptiques de la chair. Une diminution de 20 % de l'éclairement diminue le rendement de 10 %. 1 500 heures d'insolation sont considérées comme un minimum.

3.4. Cycle de la plante

L'ananas est une plante à jours « courts » mais son cycle est d'autant plus long que les températures moyennes sont basses, il tend donc à s'allonger quand on s'éloigne de l'équateur et/ou lorsqu'on s'élève. En culture, il est le plus souvent contrôlé par des substances florigènes.

3.5. Sols

L'ananas exige des terres meubles, légères, bien aérées et perméables à réaction acide (pH optimum environ ± 5,6). Il est exigeant en azote et potasse, secondairement en magnésium et phosphore.

Peu exigeant au point de vue chimique, il est bon que K/mg (en me) soit < 1 et que le pH soit acide : 5,6 à 6 (plus acide encore pour le Cayenne lisse et le Red Spanish).

4. CULTURE

L'ananas se multiplie par voie végétative. Les graines ne sont obtenues que par hybridations artificielles (travaux de génétique).

4.1. Multiplication

Tous les types de rejets sont utilisés en plantation.

Le triage s'effectue en se fondant sur le poids et non sur la taille. Les rejets les plus utilisés sont les cayeux de poids variant entre 350 et 500 g.

Le parage des rejets qui consiste à enlever les petites feuilles de la base ne doit se faire que 24 à 48 heures avant la plantation. Il ne se pratique habituellement que dans des plantations de saison sèche.

Enfin, il est conseillé de traiter les rejets en les trempant verticalement dans une solution d'ester phosphorique additionnée d'un fongicide en cas de risque de pourritures à *Phytophthora*.

4.2. Préparation du terrain

Installation d'un quadrillage de routes (transports, traitements). Labour de 35 à 45 cm. Éventuellement, drainage à 60 cm. Parfois sous-solage de 60-80 cm de profondeur. Traitement contre nématodes, fourmis, symphiles si nécessaire. Fumure de fond : essentiellement à base de N, K_2O, P_2O_5 et éventuellement MgO.

4.3. Plantation

En rangées de 2 à 3 lignes, espacées de 90 cm.

Nombre de lignes par rangée	Écartement (cm)		Densité de plantation plants/ha
	Entre les lignes	sur la ligne entre les plants	
2	60	30	44 400
2	45	30	49 300
2	40	30	51 300
2	30	30	55 500
3	40	30	58 700
2	40	25	61 000
3	40	30	66 000
4	30	30	74 000
2	40	20	77 000

Pour transformation industrielle D = 44 à 55 000
Pour vente du fruit frais D = 58 à 77 000

4.4. Couverture du sol

Facilite la lutte contre les adventices. Économise l'eau, limite la lixiviation. On peut faire un paillage 20-30 t/ha (entre lignes jumelées seulement), mais

de plus, on fait appel à un film de polyéthylène noir de 3 à 4/100 de mm débordant de chaque côté des lignes jumelées.

4.5. Lutte contre les adventices

(Imperia cylindrica, Cynodon dactylon, Panicum repens, Agropyrum repens, Digitaria sp).

a) A la préparation du terrain : herbicides totaux (aminotriazol, paraquat, glyphosate, dalapon, bromacil).

b) A la plantation : herbicides de préémergence (diuron, amétryne, bromacil), 2 à 5 kg/ ha.

c) En culture : ces trois derniers herbicides en application localisée ou généralisée à faible dose (à l'exception du bromacil).

4.6. Fumures

Les fumures sont calculées localement suivant les résultats des analyses foliaires et de l'analyse du sol dont les seuils ci-dessous ont été mis en évidence par les services de recherche de l'IRFA :

	Analyse foliaire	Analyse du sol
Besoins en N	Suivant index colorimétrique (couleur des feuilles) Si teneur en N < 1,2 % à 1,5 % de la matière sèche	
Besoins en K	Si teneur en K < 3 % de la matière sèche	Si K < 0,50 meq pour 100 g de terre
Besoins en Mg	Si Mg < 0,18 % de matière sèche	Si Mg < 0,50 meq pour 100 g
Besoins en P	Si P < 0,10 % de matière sèche	Si P_2O_6 (Truog) < 0,02 %

On pratique couramment des fumures très élevées, jusqu'aux doses suivantes par pied :

N 8 à 14 kg
K_2O 10 à 20 g
P_2O_5 0 à 5 g
MgO 0 à 5 g

Répartis en cours de végétation ou appliqués partiellement avant plantation (polyéthylène).
Ils sont d'autant plus efficaces que le fractionnement est plus important.

4.6.1. MODE D'APPLICATION DES ENGRAIS

— La technique qui permet la meilleure utilisation des produits est celle de la pulvérisation, sur le feuillage, d'engrais solubles qui ne **brûlent pas**.
Si les produits ne sont pas incompatibles entre eux, on dissout les engrais dans les solutions insecticides avec parfois en plus un herbicide à la condition de faire le mélange au dernier moment.

— Mais l'application des engrais se fait encore très souvent sous forme « solide » à l'aisselle des feuilles de la base à l'aide de cuiller ou mécaniquement.

4.6.2. PRODUITS POUVANT ÊTRE PLUVÉRISÉS

Urée (45 % d'azote) : concentration 5 à 10 %.

Nitrate de potasse (13 % d'azote + 44 % de potasse).

Nitrage d'ammoniaque (35 % d'azote).

Phosphate d'ammoniaque (20 % d'azote + 45 % d'acide phosphorique).

Sulfate de potasse (50 % de potasse), éventuellement chlorure de potasse (60 % de potasse).

Sulfate de magnésium (14 à 16 % de MgO).

Les engrais binaires et ternaires commercialisés ne sont habituellement pas bien adaptés à l'ananas. Cependant, dans certains pays (Côte d'Ivoire), on a mis au point le 8-4-20-4 bien adapté.

4.7. Contrôle de la floraison

Le contrôle de la floraison permet d'obtenir les fruits de poids moyen désiré (si on traite une plante peu développée, on obtiendra un petit fruit, si on traite une plante très développée, on obtiendra un gros fruit), à l'époque de l'année que l'on désire (ce qui permet d'adapter la production à la demande) tout en groupant la production d'une même parcelle (ce qui diminue considérablement les frais de récolte).

4.7.1. PRODUITS UTILISÉS

1) *Acétylène :*

— sous forme de carbure de calcium libérant de l'acétylène au contact de l'eau,

— sous forme de solution aqueuse saturée d'acétylène.

Dans le premier cas, on applique au coeur de la rosette une petite pincée de poudre de carbure de calcium que l'on imbibe parfois de gas-oil pour freiner la libération de l'acétylène et limiter l'échauffement.

Dans le second cas, on applique 50 à 100 cc de solution au coeur de la rosette avec un récipient quelconque sauf en cuivre (danger d'explosion).

— **Préparation de la solution :** 200 à 240 g de carbure pour un récipient de 100 litres rempli aux 3/4 avec de l'eau à la température la plus basse possible (gaz plus soluble à basse température) ; application de nuit de préférence, attention aux risques d'explosion.

2) *Éthylène :* par pulvérisation d'une solution saturée contenant un absorbant à base de charbon activé purulent.

3) *Ethephon* : produit qui libère de l'éthylène auquel on adjoint de l'urée pour faciliter cette libération.

4) *A.N.A.* (acide alphanaphthalène acétique).

5) *B.O.H.* (beta hydroxyéthylhydrazine).

4.7.2. L'INTERVALLE TRAITEMENT-RÉCOLTE (cinq moins en Côte d'Ivoire) est fonction de la température, de l'état de développement de la rosette et de la variété.

4.8. Récolte

On doit protéger les fruits contre les coups de soleil avant la maturité.
Pour l'industrie, on prend les fruits de 1,8 à 2 kg.
Pour les fruits frais, on prend ceux de 1,3 à 1,5 kg.
Il est souhaitable alors de réduire artificiellement leur couronne.
La détermination du point de coupe est surtout importante pour l'exportation en fruits frais ; on se base sur la coloration de la peau et l'aspect de la chair (notion de maturité réelle).
Pour des raisons de facilité, on s'en tient à un critère de maturité « apparente » :
— fruits tournants : début de coloration jaune à la base du fruit,
— fruits demi-mûrs : coloration à mi-hauteur,
— fruits mûrs : coloration dépassant la mi-hauteur.

4.9. Rendements

Les rendements moyens sont en première récolte de l'ordre :
— pour la conserverie de 65 à 85 t/ha en 18 à 24 mois ;
— pour le frais de 50 t à 65 t/ha en 12 à 18 mois.
La production « fruits frais » prend une importance grandissante.
La 2e récolte quand elle se pratique représente 40 à 100 % de la première.

5. MALADIES ET ENNEMIS

5.1. Maladies physiologiques

On peut constater différentes carences (en N, K, Mg ou Ca) ainsi que certaines affections de la chair du fruit dues à des températures trop basses ou trop élevées.

5.2. Ennemis et maladies - Traitements

Agent	Symptômes	Traitements
Cochenilles (Maladie du Wilt)	Rougissement et flétrissement des feuilles	Désinfection des rejets Pulvérisation d'esters phosphoriques divers : ex. : Parathion à 0,2 %, Malathion à 0,8 %
Nématodes	Croissance lente	— A la plantation à base de DBCP EDB ou DD — En cours de végétation à base de DBCP ou phenamiphos
Symphiles	Détruisent l'extrémité des racines (zone humide)	Fumigants du sol plus lindane Fonofos

Agent	Symptômes	Traitements
Lépidoptères du fruit (1)	Galeries à l'intérieur du fruit	Organochlorés à la floraison
Phytophthora (heart rot) (root rot)	Pourriture du cœur et des racines pouvant entraîner la destruction de la plante	Drainage. Désinfection des plants. Application en cours de végétation de Phthalimides (Difolatan) (Nouveaux produits en cours d'expérimentation)
Thielaviopsis paradoxa —base rot, butt rot	Pourriture noire des rejets ou du fruit	Désinfection des rejets ou section de la tige avec des Salicylamides de sodium
Fusarium moniliforme (fruitlet, core rot)	Pourriture brune des yeux	Une technique de lutte efficace reste à trouver
Maladies bactériennes :		
— Marbling disease	Brunissement sec des yeux	Variété résistante : Queen
— Yeasty rot	Pourriture des fruits sur pied	Lutte trop onéreuse

(1) En Amérique latine seulement. Attention aux importations de matériel végétal.

6. TECHNOLOGIE

L'exploitation de l'ananas de conserverie suppose des unités de culture variables selon les conditions d'exploitation (prix de revient du fruit, importance de l'usine, prix de main-d'oeuvre, machines utilisées, etc.).

L'exploitation pour l'exportation de fruits frais ou la consommation locale est davantage à la portée de planteurs indépendants à condition de disposer d'une chaîne de froid et de points d'embarquement identiques à ceux de la banane.

6.1. Suite des opérations pour la préparation des tranches, compote et jus

Ananas frais

↓

lavage → fruits propres

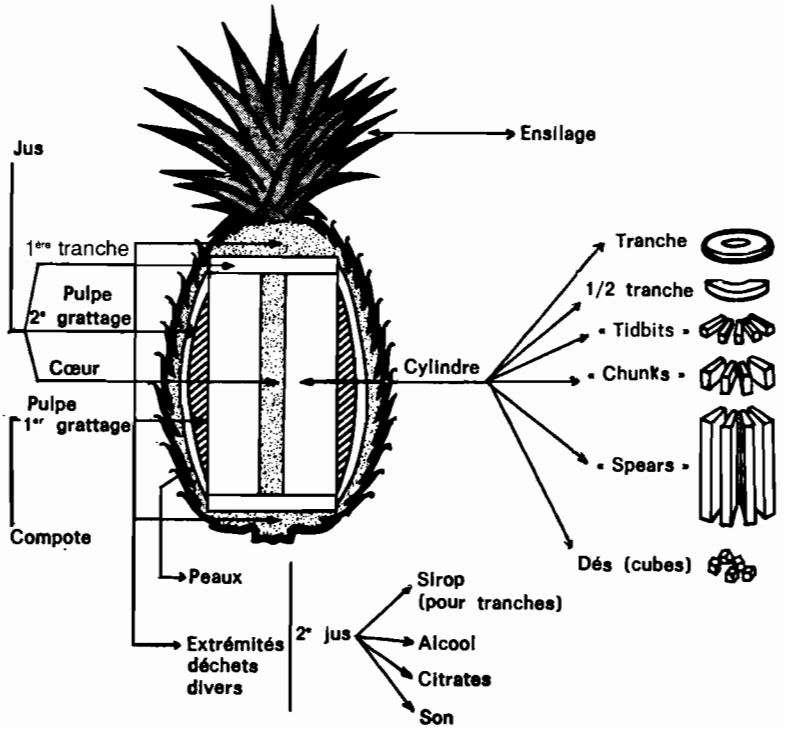
calibrage → 4 catégories (d'après le diamètre maximum)

coupe des 2 extrémités → fruit sans base ni haut

section de la peau →	cylindre de chair + 2 moitiés de peau
écœurage →	cylindre de chair sans coeur
coupe cylindre chair →	tranches ou morceaux de tranches
1er grattage de la peau →	compote
2e grattage de la peau →	jus
pressurage des déchets →	2e jus pour sirops, alcool ou vinaigre

Tranches, compote, jus.

UTILISATION INDUSTRIELLE DU FRUIT



6.2. Résultats

Environ 30 à 60 % du fruit frais sont utilisés pour la fabrication de tranches ou de morceaux de tranches et 25 à 35 % représentent les déchets.

Les 15 à 35 % restant forment la compote et le jus.

6.3. Conditionnement pour l'exportation des fruits

Les opérations suivantes vont se succéder :

Ananas venant d'être récoltés

triage →	élimination des fruits défectueux
classement →	par catégorie de poids et de degré de maturité
nettoyage →	fruits présentant bien
brossage →	pour enlever les cochenilles
traitement (fongicide) →	de la section du pédoncule pour éviter la pourriture noire
emballage →	dans des caisses spéciales

Ananas emballés prêts pour leur expédition

Le classement s'effectue suivant le poids :

Gros fruits	de 1,6 kg à plus de 2 kg
Fruits moyens	de 1,3 kg à 1,6 kg
Petits fruits	de 1 kg à 1,3 kg

et le degré de maturité :

Degré de maturité	Grosseur des fruits	
	Petits et moyens	Gros
M0	Fruits très légèrement jaunissants à la base	
M1	1/3 coloré à la base	2 à 3 cm colorés à la base
M2	1/2 coloré à la base	1/3 coloré à la base
M3	3/4 coloré à la base	1/2 coloré à la base

La température optimale de transport est de 7-8° C.

L'expédition doit se faire dans un délai maximum de 24 heures entre la récolte et la mise au froid.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (jt/ha) :

Temps de travaux en culture manuelle, pour exportation en frais, sur 1 ha.

Défrichement	200 à 800 jt
Préparation sol	3
Préparation matériel végétal	60 à 115
Plantation	30

Fumure	10 à 20 jt
Traitements	10 à 20
Désherbages	40 à 80
Réduction des couronnes	30
Protection coups de soleil	35
Récolte emballage	135

Pour la production « usine » : moins de 170 journées/ha en culture hautement mécanisée.

7.2. Production - Ananas (en milliers de tonnes)

CONTINENTS	1979-81	1985
Amérique du Nord et centrale	1 362	1 143
Amérique du Sud	1 022	1 523
Asie	4 527	5 288
Europe	2	2
Afrique	1 200	1 135
Océanie	142	142
Total mondial	8 255	9 233

AVOCATIER

Lauracée **Avocado**
Persea americana **Aguacate**

1. BUTS DE LA CULTURE

L'avocatier est cultivé pour ses fruits (avocats) qui servent à la consommation humaine ou qui donnent une huile utilisée principalement pour la fabrication des cosmétiques, mais aussi en pharmacologie.

L'avocat a une valeur nutritive fort élevée, par suite de sa haute teneur en matière grasse, qui peut atteindre 30 %. Cependant, il est très facile à digérer.

Poids pour poids, l'avocat a une valeur énergétique supérieure à celle de la viande.

2. BOTANIQUE

Originaire d'Amérique tropicale, l'avocatier comprend trois grandes races :

	Race mexicaine	Race guatémaltèque	Race antillaise
Morphologie	Feuilles petites à odeur d'anis. Fruits petits (50-250 g) à peau mince (0,8 mm maximum)	Fruits longuement pédonculés à peau épaisse (1,5 à 6 mm)	Grandes feuilles. Gros fruits (jusqu'à 1 kg à peau moyenne) (0,8 à 1,5 mm)
Teneur en huile	Élevée	Moyenne	Faible
Sensibilité au froid	Résiste à — 6° C	Résiste à — 2°	Résiste à 0°
Altitude	Jusqu'à 2 000 m	900 à 1 800 m	Inférieure à 900 m
Production	9 à 10 mois après floraison	10 à 12 mois après floraison	6 à 8 mois après floraison
Avantages	Intérêt commercial pour régions froides (Corse). Utilisation en porte-greffe.		Résiste mieux aux sols salés (jusqu'à 3 pour 1 000 dans les eaux d'irrigation en Israël)

Les variétés sont très nombreuses.

A titre indicatif, on en trouvera ci-dessous quelques-unes avec leur appartenance aux races définies ci-dessus.

Race mexicaine		Race guatémaltèque		Race antillaise	
Groupe A	Groupe B	Groupe A	Groupe B	Groupe A	Groupe B
Mexicola Peubla Jalna Gottfried Duke	Winslowson	Taylor Queen Dickinson	Nabal Anaheim Haas Itzamna Pollock	Waldin Simmonds Peterson	Trapp Pollock

De nombreux hydrides sont également cultivés :

Mexicains x Guatémaltèques : Fuerte (groupe B) - Ryan - Lulla.

Antillais x Guatémaltèque : Collinson (groupe A) - Booth 7 - Booth 8.

L'avocatier est un arbre d'une quinzaine de mètres, à feuilles coriaces.

Son système radiculaire à moitié pivotant possède un chevelu concentré dans le premier mètre du sol.

Les inflorescences sont en grappe.

La floraison est tout à fait particulière. En effet, l'époque de la maturité du pistil

ne correspond pas à celle de la déhiscence des anthères. Cela nécessite la présence dans les vergers de variétés présentant à cet égard des aptitudes différentes. Tous les avocatiers ont été classés en variété A et en variété B d'après les particularités de la floraison (1).

Les arbres du groupe « A » ont leurs organes femelles réceptifs le matin et les organes mâles productifs le lendemain après-midi d'où autofécondation impossible.

Les arbres du groupe « B » ont leurs organes femelles réceptifs l'après-midi et les organes mâles mûrs le lendemain matin. Des chevauchements se produisent parfois d'où une autofécondation possible.

Nécessité de mélanger les variétés des deux groupes en plantation industrielle pour augmenter le taux de nouaison.

Les chevauchements sont fréquents en climat méditerranéen. Le phénomène est plus strict en climat tropical.

3. ÉCOLOGIE

3.1. Besoins en chaleur

La culture est surtout conditionnée par la température.

La température optimum est de 25° C pour la moyenne des mois chauds et de 15° C pour la moyenne des mois froids.

Les variétés hybrides telles que Fuerte et Puebla sont les plus résistantes au froid, avec les variétés de race mexicaine.

Enfin, l'avocatier est sensible aux vents forts et desséchants. Il est parfois nécessaire d'installer des brise-vent.

3.2. Besoins en eau

L'avocatier a besoin d'environ 1 200 mm de pluies bien réparties. Si la saison sèche est trop longue, cela entraîne des défoliations. De fortes pluies à la floraison peuvent provoquer de la coulure. L'hygrométrie doit être élevée à la nouaison.

3.3. Influence de l'altitude et de la latitude

L'altitude retarde la maturation. On admet comme limite de latitude les parallèles 36° N et 36° S. Cependant, l'avocatier peut être cultivé jusqu'en Corse en bonnes situations (43° N).

3.4. Besoins en sols

Ceux qui conviennent le mieux sont les sols profonds (1 mètre), sableux, sur terre franche et bien drainée (plan d'eau à plus de 2 m).

Le pH optimum doit varier entre 5 et 6,5.

Les terres rouges doléritiques sont très favorables (ainsi que les sols volcaniques).

(1) Van Den Abeele et Vandenput, p. 828.

4. CULTURE

4.1. Semis et greffage

En germoir sur terreau désinfecté, semis de noyaux extraits de fruits récoltés sur l'arbre, pour éviter l'infestation par le Phytophthora.

Quand la tigelle atteint 5 cm, on repique en pépinière (après avoir pincé le pivot) en pots ou sacs de polyéthylène, que l'on dispose en bacs de greffage.

A 3-6 mois, on greffe en fente de côté avec un greffon de 5 à 7 cm avec oeil terminal ou en fente en tête à 4 mois.

4.2. Plantation

Elle a lieu 12 à 18 mois après le semis ; on met alors en place les plants, transplantés en pots, dans les trous de 1 m en tous sens, à des espacements de 8 à 10 m, selon le climat et les variétés.

4.3. Conduite du verger

Elle est comparable à celle du verger d'agrumes : entretenu au départ, il peut être ensuite engazonné et entretenu au gyrobroyeur, ou maintenu sur sol propre en zone méditerranéenne.

4.4. Irrigation

Mêmes caractéristiques que pour les agrumes. En période déficitaire, on apporte des irrigations de 75 à 150 mm par mois par sillon, par arroseur, par goutte-à-goutte, « microjet », voire par cuvette (double cuvette) pour les jeunes arbres.

4.5. Fumure

Quantité en kg par pied

	Urée	Ou S. d'Am.	Scories	Sulfate de potassium	Dolomie
Plantation			2,0		2,0
Année 1	0,4	0,8	2,0	0,3	2,0
Année 2	0,6	1,2	2,0	0,5	2,0
Année 3	0,8	1,6	2,0	0,7	2,0
Année 4	1,0	2,0	2,0	0,9	2,0
Année 5	1,5	3,0	2,0	1,4	2,0
Suivantes	2,0	4,0	2,0	1,9	2,0

Les fumures sont à moduler en fonction des analyses de sol et des résultats du diagnostic foliaire en cours de végétation.

Application en 2 fois, début et fin de saison des pluies.

4.6. Rendements

Ils sont très variables : 70 à 90 kg par arbre/an. On peut atteindre 200 kg avec des arbres bien soignés et une variété très fructifère.

En Californie on atteint 8 à 10 t/ha.
Il faut noter une alternance très fréquente (surtout avec Fuerte).

5. MALADIES ET ENNEMIS

	Traitement
— Insectes :	
• *Cryptophlebia leucotetra*	Pulvérisations de Naftil Méthyl parathion
Selenothrips rubrocinctus	
— Maladies :	
• *Phytophthora cinnamomi* (destruction des racines)	Précautions en pépinière Désinfection du sol
• *Cercospora purpurea* : pustules et crevasses sur le fruit	Pulvérisations cupriques
• Anthracnose *(Colletotrichum gloeosporioïdes)*	
• Pourridié *(Armillaria)*	Voir lutte contre les pourridiés

6. TECHNOLOGIE

Suivant l'emballage et la température de conservation (de 5 à 25° C), la maturation est plus ou moins rapide : à 25° C, la conservation ne dépasse pas 5 jours.

Époques favorables pour l'exportation en Europe :
— du 15-8 au 5-3, Israël exporte des variétés Ettinger, Fuerte, Nabal et Benick
— du 15-9 au 31-12, la Martinique exporte des Lula et Tonnage
— d'avril à juillet, l'Afrique du Sud exporte des Fuerte
— de mars à juin, le Cameroun et la côte occidentale d'Afrique peuvent exporter : Peterson, Lula, Collinson, Booth, Nabal.

L'huile d'avocat est utilisée principalement pour la fabrication de cosmétiques. La pulpe d'avocat contient 5 à 22 % d'huile (par comparaison : moins de 20 % pour l'olive) selon les variétés ; les mexicaines ont la plus forte teneur.

Le rendement à l'extraction est de 85 à 90 % de la teneur en huile.

7. DONNÉES STATISTIQUES

Temps de travaux (jt/ha) :
(100 arbres/ha)

• préparation du sol	100
• plantation, arrosage	25
• travaux d'entretien annuels jusqu'à la 10e année	35
• récolte	10
Total annuel	170
• à partir de la 10e année :	
- entretien	35
- récolte	15
Total annuel	50

BANANIER

Musacée — **Banana, plantain**
Musa — **Banana, platano**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le bananier est avant tout une plante alimentaire, cultivée pour son fruit consommable frais ou cuit. Plus rarement, on consomme la pulpe de banane séchée ou réduite en farine (farine de banane verte ou mûre pour l'alimentation des enfants ; emploi peu fréquent en alimentation animale).

L'exploitation de *Musa textilis* (abaca) pour l'extraction des longues fibres des graines foliaires existe principalement aux Philippines et en Équateur.

2. BOTANIQUE

2.1. Origine

Les bananiers cultivés actuellement (cultivars) proviennent de bananiers sauvages à graines présents en Extrême-Orient (d'Inde aux Philippines au nord, de Malaisie au nord, Australie au sud).

Les cultivars se sont répandus en toutes zones intertropicales humides et chaudes.

2.2. Classification

Le genre Ensete (ancien *Musa ensete*) est présent en Asie et en Afrique, mais n'est cultivé qu'en Éthiopie. Il ne rejetonne pas naturellement.

Le genre Musa se divise en espèces séminifères à fruits non comestibles et en cultivars à fruits parthénocarpiques.

Les espèces à graines se répartissent en quatre sections : *australimusa* (avec *M. textilis*), *Callimusa, Rhodochlamys, Eumusa*. Dans la section Eumusa, se trouvent *Musa acuminata* (symbole de génome A) et *Musa balbisiana* (B), espèces qui sont à l'origine des cultivars.

Ceux-ci sont classés selon leur origine génétique et leur ploïdie :

— diploïdes AA (ex. Figue sucrée) ;
— triploïdes AAA (ex. Gros Michel, anciennement très cultivé, mais sensible à la Maladie de Panama, fusariose), Figue-Rose, et le sous-groupe sinensis ou Cavendish : série de cultivars mutant les uns des autres pour la longueur des organes foliaires et floraux : Lacatan, Poyo = Valery, Grande Nanine, Nain = ex. *Musa sinensis*) ;
— triploïdes AAB avec le sous-groupe des plantains (banane corne, french plantain) et ses très nombreuses formes de bananes à cuire ; et aussi la Figue-pomme ;
— triploïdes ABB avec des variétés de la péninsule indienne et des Philippines, à fruits à cuire ou à fruits doux ;

— les tétraploïdes naturels sont très rares ; on a créé des hybrides tétraploïdes à partir de Gros Michel ou de ses formes naines.

2.3. Description

Les bananiers sont des plantes herbacées dont la taille du pseudo-tronc varie de 1,50 m à 8 m selon les espèces et cultivars. D'une souche souterraine vivace, globuleuse (0,30 à 0,60 m de diamètre) appelée aussi rhizome ou bulbe, naissent d'abord de longues feuilles de dimensions croissantes.

Leurs graines s'imbriquent, de par une phyllotaxie spirale, pour former le pseudo-tronc (les termes de tronc et d'arbre sont impropres pour les Musacées) ; elles s'épaississent en pétioles, se prolongeant en nervure centrale séparant le vaste limbe en deux parties sensiblement égales.

Le méristème terminal de la souche reste peu au-dessus du niveau du sol au cours de la période végétative, pendant laquelle 15 à 25 feuilles fonctionnelles sont produites ; il différencie ensuite une inflorescence tandis que la tige se développe à l'intérieur du faux-tronc. La croissance interne dure environ trois mois, au cours desquels les dernières feuilles différenciées sortent extérieurement (le rythme de sortie est environ une par semaine), puis le bourgeon floral sort extérieurement (« floraison »).

Le bourgeon est composé de glomérules de fleurs (tout d'abord avec de longs ovaires) dites femelles. Ce sont les futures « mains » du régime. Ensuite, se sont des glomérules de fleurs staminées qui apparaissent (dites fleurs mâles, à ovaire très réduit). Les mains comportent deux rangées de fruits compressés sous une spathe violacée (dite souvent bractée). Dans les cultivars, les ovaires donnent des bananes sans graines.

L'inflorescence après sa sortie se recourbe vers le sol, pour les cultivars et certaines espèces. Les bractées tombent les uns après les autres, les fruits se redressent et se courbent. Durant environ trois mois, ils s'allongent puis grossissent.

Le régime qui est l'ensemble des mains de bananes et de l'axe (hampe) qui les portent est généralement récolté avant que la maturité débute : celle-ci est souvent médiocre sur la plante. Le régime « vert » peut être conservé et transporté en condition réfrigérée (12°5 C) et suffisamment humide.

La tige qui a produit le régime est coupée à la base ; sinon elle fane progressivement. Une tige ne peut donner qu'une inflorescence.

La souche produit d'assez nombreux rejets latéraux enterrés au cours de la croissance de la tige. On en conserve généralement un seul, pour assurer la succession végétative.

La vie d'une tige est de 10-14 mois selon les conditions. Grâce à la succession végétative, une bananeraie peut durer des dizaines d'années.

3. ÉCOLOGIE

Le bananier est une plante exigeante en eau, sensible aux basses températures et aux vents. Les sols doivent être sains, aérés et riches en azote et potasse.

3.1. Besoins en eau

Le sol doit être suffisamment pourvu en eau, les racines n'absorbant aisément que le tiers de la tranche dite habituellement « utile ». En climat chaud et humide, on considère généralement que les besoins sont couverts avec 125 à 150 mm par mois. Mais l'évapo-transpiration maximale peut être plus élevée et dépasser 200 mm. Les besoins sont plus élevés en régions sèches et chaudes, ou en situations très ventées.

Les bananiers se défendent contre des déficits momentanés en repliant les demi-limbes des feuilles, mais résistent mal aux sécheresses prolongées de plus de 1 mois. Le pseudo-tronc peut alors casser. Les vents provoquent des lacérations de limbes, aggravant les effets de sécheresse.

3.2. Besoins en chaleur

L'optimum est voisin de 28° C (température interne). Au-delà de 35-40° des anomalies surviennent. En-dessous de 24° C, la croissance se ralentit et devient de plus en plus faible (15-16° C) et stoppe complètement vers 11° C.

Les feuilles jaunissent à des températures de 4 à 6° C, celles du bananier « Nain » résistant un peu mieux que celles de « Poyo ». La souche ne meurt que par gel.

A 12° C et en-dessous, les fruits subissent des dommages dans le péricarpe qui présente des tirets noirs en coupe longitudinale (« frisure », ou pigmentation). Les échanges gazeux sont ralentis et la maturation est difficile. Le phénomène se produit en champ, mais aussi en cours de transport. A des températures plus basses, les bananes sont déformées et se nécrosent.

3.3. Besoins en lumière

Le bananier supporte des fortes insolations, si l'approvisionnement hydrique est satisfaisant. La nébulosité ralentit la végétation et augmente la taille des rejets.

1 500 à 1800 heures d'insolation par an sont un peu insuffisantes ; 2 000 à 2 400 heures sont favorables.

Une insolation brutale avec déficit hydrique provoque des pâlissements des limbes puis des nécroses (brûlures) ; les jeunes bananes sont également sensibles.

3.4. Les vents violents peuvent interdire la culture : chutes, cassures des faux-troncs.

3.5. Besoins en sols

Les racines étant peu pénétrantes, le sol doit être meuble, bien aéré. Le manque de structure, le mauvais drainage, la compacité sont des défauts graves. Sont à rejeter les sols ayant un horizon durci ou gravillonnaire, et ceux dont le plan est trop superficiel. La nappe doit se trouver au moins à 80 cm de profondeur.

Le bananier supporte des pH de 4,0 à 8,0 mais en général on tente de l'améliorer entre 6,0 et 7,5 par amendements.

Le bananier a des besoins importants en azote (immobilisations : 250 kg/ha ; exportations : 80 kg pour 40 t/ha de régimes) et en potassium (immobilisations : 1 000 kg/ha ; exportations : 240 kg pour 40 t/ha). Les besoins en P, Ca, Mg sont faibles.

Sauf pour certains sols très organiques, les apports d'azote sont indispensables ; il en est de même pour le potassium, sauf quand les teneurs du sol atteignent 1 m.P 100 g.

Le bananier peut supporter une légère salinité des eaux (jusqu'à 300 mg/l de NaCl, 1 500 ppm de sels totaux).

4. CULTURE

4.1. Préparation du sol

Ameublissement au maximum de profondeur sans modification de l'ordre des horizons (sous-solages, façons superficielles) ; drains ouverts si nécessité de baisser le plan d'eau (80 cm).

Le nettoyage complet d'un sol neuf n'est nécessaire que si une mécanisation interne est prévue.

La plantation se fait dans des trous ou des sillons de 60 cm de profondeur.

4.2. Densités et dispositions

La conduite du bananier à plusieurs tiges à partir d'une souche ou d'un rejet initial unique est abandonnée. La conduite à un seul rejet successeur est généralisée, la densité initiale de plantation persiste, sauf pertes par maladies, chutes, etc.

On plante soit en triangle équilatéral, soit au carré ou rectangle. Les dispositifs en lignes jumelées sont également utilisés (avec interventions mécanisées dans les grands intervalles).

La densité pour les cultivars les plus communs (Poyo, Grande Naine, Nain) varie selon les pays (1 600 en Amérique centrale, 2 000 en Afrique et aux Antilles) et selon la climatologie (1 600-1 800 en pays peu ensoleillés, 1 800-2 500 en régions très ensoleillées).

Quelques exemples :

	Régulier rectangle	Irrégulier avec un grand intervalle	
		Lignes simples	Lignes jumelées
1 600	2,50 x 2,50 m	1,50 x 4,20	
1 666			2 x 2 x 4 m
2 000	2 x 2,50	1,25 x 4,00	2 x 1 x 4 *
2 500	2 x 2		2 x 1 x 3 *

* En quinconce entre les deux lignes jumelées.

Le matériel végétal, qui doit être d'autant plus homogène que la densité est élevée, sera classé en catégories : souche pourvue d'un rejet attenant (produc-

tion précoce et élevée), souche simple entière, portion de souche (1/2 ou 1/3) ; gros rejet, rejet moyen, petit rejet.

Les souches peuvent être conservées quelques jours au sec alors qu'on plantera les rejets rapidement.

On place de la terre meuble au fond du trou ou du sillon, le collet devant se trouver au plus à 10-15 cm sous le niveau du sol. On peut traiter le matériel avec un nématicide mis dans une pâte argileuse (pralinage) (1 g de m.a. des produits cités plus loin). On plante à des époques chaudes mais pas trop pluvieuses, ou en saison sèche avec irrigation.

4.3. Fumure

L'emploi de fumure organique (composts, paillages) n'est limité que par son coût, les résultats étant généralement excellents.

Sur sols acides désaturés et sujets à lixiviation, on apporte annuellement 500 g par pied de chaux magnésienne. Il est préférable de procéder à des analyses annuelles de K-Ca-Mg.

L'azote est apporté à raison de 100 à 150 g par plante, avec fractionnement. Sur sols pauvres en potassium, on apporte de 200 à 500 g de K_2O, également fractionnés.

Les apports d'oligo-éléments sont pratiqués sur symptômes de déficience : zinc, bore, cuivre, manganèse et fer.

La fumure perd beaucoup de son efficience dans les cas de fortes atteintes de nématodes.

4.4. Irrigation

Les besoins sont estimés à 50 m^3/ha/jour par temps ensoleillé, 36 m^3/jour par temps mi-couvert et 19 m^3/jour par temps couvert.

Un calcul plus précis se base sur ET = 1,1 E bac de classe A.

Dans certaines situations, avec un plan d'eau rapproché (70-80 cm) accessible aux racines, on peut se dispenser d'apports. En général, on irrigue soit par rigoles ou cuvettes, ou par calants (Canaries), mais de plus en plus par aspersion, avec des systèmes fixes ou mobiles. L'irrigation à débit réduit est utilisée sur les sols favorables, conservant bien l'humidité.

4.5. Entretien

Les techniques de paillage étant abandonnées malgré leur intérêt, on désherbe soit manuellement (machette), soit mécaniquement avec précaution, (hone rotative), soit chimiquement. Les désherbants sont à utiliser avec précaution, soit en pré-levée (simazine, atrazine, 3-4 kg/ha), soit en post-levée (paraquat 2 l/ha) ; le dalapon (5 kg/ha) pour les taches de graminées. Une bonne connaissance de la flore adventice est nécessaire pour déterminer le choix des meilleurs traitements.

L'enherbement bien contrôlé en début de plantation et aux périodes de récolte (découvrement du sol) aboutit au maintien de bananeraies propres dès qu'elles sont ombragées par le couvert foliaire.

4.6. Protection des régimes, récoltes, rendements

Contre les vents, on tuteure (tuteur vertical enfoncé dans le sol), on étaie (deux perches souvent de bambou), ou on haubane (avec des ficelles de plastique). Opération très onéreuse.

La partie mâle du régime est supprimée entre 15-20 jours après floraison (2 à 5 % de gain de poids) tandis que les vestiges de fleurs à l'apex des fruits peuvent être supprimés à 5-8 jours. Mais cette opération est plus souvent faite après récolte.

Les régimes sont protégés par une gaine plastique (polyéthylène de 3 à 8 centièmes de mm d'épaisseur) transparente et parfois colorée. Protection contre certains parasites (Thrips) et contre le froid (gain de poids de 5 %).

L'intervalle entre émission florale et récolte est dans les conditions optimales de température de 80 à 90 jours : il s'allonge par temps sec ou frais (120 jours). En climat avec une saison froide (Israël, Canaries), il peut atteindre 150 jours.

Le point de coupe commercial pour l'exportation est défini par le grossissement du fruit (grade) ; il varie de 32 à 36 mm, diamètre du fruit à mi-longueur. Le grade est la norme qui remplace les anciennes classes de 3/4 léger, 3/4 plein.

Les fruits doivent être exempts de blessures, grattages de peau, atteintes fongiques, nécroses, etc.

Les rendements sont très variables selon les pays et les techniques. Pour les cultivars d'exportation, 15-25 t/ha est médiocre, 25-35 t/ha moyen, 25-45 t/ha bon, 45-60 t/ha excellent. Ceci pour des poids de mains coupées et non des régimes entiers.

5. MALADIES ET ENNEMIS

5.1. Maladies virales

Le Bunchy top transmis par Aphides est absent en Afrique et Amérique : on doit éradiquer les pieds malades et les détruire. La mosaïque en tirets, maladie insidieuse, se développe parfois fortement et doit donner lieu à une éradication systématique des pieds atteints et de leurs rejetons.

5.2. Maladies fongiques

Pour mémoire, la fusariose ou maladie de Panama : le sol infesté ne peut plus être planté en cultivars sensibles ; les cultivars Cavendish sont tolérants, quoique la maladie apparaisse dans certaines régions. Aucun remède. Recherches génétiques en cours.

La maladie de Sigatoka ou cercosporiose, sur feuilles : présente dans toutes les zones de production (une forme plus grave, dite Sigatoka noire, s'étend en Extrême-Orient et en Amérique centrale). La prévision bioclimatologique est au point. Traitements généralement par voie aérienne (pulvérisation pneumatique) avec 12 à 15 litres d'huile minérale légère (fongistatique) auxquels on ajoute un fongicide systémique (groupe des benzimidazoles 200 à 300 g m.a./ha).

D'autres champignons atteignent le fruit avant récolte (*Trachysphaera fructigena* au Cameroun : contrôle par ensachage précoce des régimes), ou restent

latents, se développent après récolte et particulièrement en mûrisserie (*Colletotrichum* est l'espèce la plus importante causant l'anthracnose, mais de nombreuses autres espèces interviennent).

5.3. Maladie bactérienne

La Moko disease, causée par *Pseudomonas solanocearum* est surtout présente en zone américaine. On lutte par éradication des taches.

5.4. Ravages : *Cosmopolites sordidus*, le charançon du bananier

Les femelles pondent à la surface des rhizomes dans lesquels les larves se développent, creusant des galeries caractéristiques. On traite par application sur le pourtour de la base des plants de poudres ou granulés d'insecticides. Les produits à base d'aldrine et dieldrine sont abandonnés car ils induisent des résistances de l'insecte. Le Chlordecon très efficace n'étant plus fabriqué, on revient à l'HCH (15 g m.a.) ou mieux au lindane.

Les traitements ont lieu en général 2 fois par an aux saisons intermédiaires ; l'assainissement peut être contrôlé par examen des souches (coefficient d'infestation) ; s'il est bon, on peut espacer les applications insecticides sans pour autant omettre les observations d'infestation, cette dernière étant insidieuse.

5.5. Les nématodes parasites des racines

L'espèce la plus dangereuse est *Radopholus similis*, endoparasite destructeur des racines : les infestations ne se manifestent que par la chute progressive des rendements. On évalue rapidement le degré d'infestation par des comptages sur échantillons de racines.

Pendant une période, le traitement a été fait par injection de DBCP dans le sol (2 ou 3 fois/an 20 à 30 l/ha). Actuellement, on dispose d'une gamme de nématicides granulés, faciles à épandre à la base des plantes ; les doses sont en général de 2 à 3 g de m.a., deux ou trois fois par an.

On cite : le phenamifos (Nemacur), le prophos (Mocap), le carbofuran (Furadan) ; de nouveaux produits sont à l'étude. Les effets sur le rendement sont élevés malgré une certaine phytotoxicité.

6. TECHNOLOGIE

6.1. Préparation des régimes en vue de l'exportation

Les régimes entiers sont découpés en mains ; cette opération a rarement lieu au champ, immédiatement après la récolte (quoiqu'on pense que cette technique se développera) ; les régimes entiers sont transportés dans un atelier de conditionnement, soit par véhicules, soit par « câbles ». Ce transport réclame de grandes précautions pour éviter chocs et frottements qui marquent fortement la peau sensible des bananes. On utilise des couvertures et matelas plastiques.

En atelier, on procède à la découpe des régimes en mains, à leur triage, à la découpe des mains en 2 ou 3 fragments de 5 à 8 doigts ("clusters" ou bouquets).

Le lavage (10 minutes) en eau courante est destiné à entraîner la sève, les poussières, vestiges floraux, etc. Il est souvent suivi d'un rinçage de quelques minutes dans un autre bac.

Le classement des mains et clusters se fait dès la mise en bac de lavage, mais peut se faire ultérieurement. Les catégories sont basées sur les dimensions, et sur l'absence des défauts ou la présence de quelques-uns d'entre eux.

Après le rinçage, les clusters sont désinfectés soit par trempage, soit par pulvérisation ; la solution fongicide contient un produit du groupe des benzimidazoles, à la concentration de 200 à 400 ppm. Les pourritures d'après récolte sont considérablement réduites.

Après égouttage, les clusters sont placés en lits dans des cartons avec des protections de polyéthylène intermédiaires ; les cartons doivent être résistants à l'humidité ambiante au cours du transport et du mûrissage. Ils contiennent de 16 à 20 kg de fruits (poids net) selon les pays.

L'intervalle de temps entre la récolte et la mise à bord des navires spécialisés doit être le plus court possible, 24 à 48 heures. Les navires bananiers modernes comportent une grande puissance de réfrigération pour que la pulpe atteigne rapidement (en moins de 72 heures) la température optimale de conservation 12°5 C, à laquelle les échanges gazeux sont faibles, quoique non arrêtés. Une ventilation avec renouvellement d'air élimine le CO_2 et l'éthylène. La durée de transport peut atteindre 25 jours si nécessaire.

Pour mûrir convenablement, en mûrisserie, on doit réchauffer le fruit (à 17-18° C), injecter quelques heures dans les chambres de l'éthylène (1 p. mille), puis maintenir à une température (16-20° C) selon la rapidité avec laquelle on désire obtenir le fruit mûr. Celui-ci est ensuite pris en compte par les commerçants.

6.2. Valeur alimentaire de la banane : c'est un fruit hautement énergétique

Eau :	75,3 %
Glucides :	22,0 %
Protides :	1,3 %
Cendres :	0,8 %
Lipides :	0,6 %

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (jt/ha)

— Côte d'Ivoire : Création d'une plantation (2 000 pieds/ha) dans une forêt dense.

— préparation du sol	178
— plantation	75
— traitements	35
Total création	288

— entretien	233
— récolte	75
Total général	596

7.2. Production (en 1 000 t)

CONTINENT	1979-1981	1985
Amérique du Nord et Centrale	7 207	7 459
Amérique du Sud	11 206	12 140
Asie	14 547	16 230
Europe	490	456
Afrique	4 735	5 047
Océanie	1 089	1 127
Total mondial	39 274	42 459

Rang	PAYS	Production 1985 en 1 000 t
1	Brésil	7 505
2	Inde	4 686
3	Philippines	4 368
4	Indonésie	2 085
5	Équateur	1 705

Commerce 1985 (en 1 000 t)

Rang	PAYS	Importation	PAYS	Exportation
1	U.S.A.	3 067	Équateur	1 074
2	Japon	680	Honduras *	920
3	R.F.A.	589	Costa Rica *	882
4	France	426	Philippines	789
5	Italie	358	Colombie	786

* Données non officielles

LITCHI

Sapindacée — **Lychee**
Nephelium litchi (Litchi chinensis) — **Litchi**

1. ORIGINE

« Très probablement originaire de Chine... le litchi s'est répandu dans toute l'Asie... l'Afrique de l'Est et du Sud, Madagascar, la Floride, Hawaï » (1).

« C'est un arbre de 5 à 6 m de haut pouvant parfois dépasser 10 m » (1).

Le feuillage est toujours vert et « les feuilles sont très luisantes sur la face supérieure et ternes dessus » (1).

« Les panicules portent à un moment donné soit des fleurs mâles, soit des fleurs femelles, la même branche devenant alternativement mâle et femelle. Le chevauchement des séries est inévitable et par suite la pollinisation peut avoir lieu » (1).

2. VARIÉTÉS

	Nom courant	Climat	Origine
Nephelium lappaceum	Litchi chevelu Ramboutan	Tropical	Malaisie
Nephelium litchi (Litchi chinensis)	Litchi chinois ou letchi	Subtropical	« Tempéré » Chine
Nephelium longana (Euphoria longana)	Longanier ou longane	Subtropical	« Continental » Inde
Nephelium mutabile	Kapoulasan	Tropical	Malaisie

3. ÉCOLOGIE

Variable selon les espèces.

Le litchi chevelu et le kapoulasan sont des essences tropicales.

Le litchi chinois est une essence de climat tropical à saison froide marquée.

Le longanier supporte des températures plus basses et une sécheresse en période hivernale.

(1) Les fruits tropicaux et subtropicaux, J.F. Leroy, Que sais-je ? PUF, pp. 111-112.

3.1. Climat

Altitude :

Litchi chevelu	Litchi chinois	Longanier	Kapoulasan
< 300 m à Java < 600 m à Sri Lanka	< 500 m Maurice 600-1 000 m à Sri Lanka < 1 000 m en Indonésie	< 1300 m au Bengale	id. Litchi chevelu

Latitude zone équatoriale tropicale : 26° à 30° N.

Pluies : 1 250 mm au minimum. Le longanier est plus résistant à la sécheresse que le litchi chinois.

Hygrométrie : 80-90 % en saison humide.

Température :

— L. chinois : été, moyenne optimum 25-30° C
saison froide, minimum 4-5 ° C
température létale 0° C

— Longanier : température létale -2 à -3° C.

3.2. Sols

De préférence légèrement acides.

A Madagascar, les conditions optima de culture se rencontrent sur la côte Est :

— pluviométrie 2 500 à 3 000 mm
— température maximale : 35° C
— température minimale favorisant la floraison : 15° C
— sols d'alluvions, frais et profonds
— conditions sanitaires saines
(d'après C. Moreuil, document IRFA n° 51).

« Le litchi-fruit est une noix de 3 à 4 cm de diamètre, à coque tendre, rugueuse et tuberculée d'une belle couleur rouge à maturité.

« La partie comestible est constituée par une pulpe blanche translucide, juteuse et sucrée : c'est l'arille qui recouvre entièrement une grosse graine lisse et brunâtre » (1).

C'est certainement un des fruits tropicaux les plus savoureux.

4. CULTURE

On le multiplie par semis ou par greffage, mais... « la méthode la meilleure et la plus employée est le marcottage aérien... les plants provenant de marcottes sont en avance d'environ 3 ans sur ceux issus de graines » (1).

(1) Les fruits tropicaux, J.F. Leroy, Que sais-je ? PUF, pp. 111 et 113.

4.1. Pépinière

Pouvoir germinatif des graines ne dépassant pas 4 ou 5 jours après dépulpage et 3 à 4 semaines après récolte sans dépulpage.

Semis à 1,25 cm de profondeur en position horizontale.

4.2. Plantation

10 x 10 m litchi chevelu ; 13 x 13 à 17 litchi chinois. Trous : 1 m de diamètre ; profondeur 1 m.

4.3. Fumure

20 kg de fumier par jeune plant ; 50 kg par arbre adulte.

Sensible aux carences en zinc.

4.4. Irrigation

Nécessaire en cas de sécheresse marquée.

4.5. Ennemis et maladies

Erinose (*Eriophyes*)	traitement au DDT à 5 %
Cochenille (*Parlatoria*)	traitement au Parthion

Punaises (*Tessaratoma papillosa*).

4.6. Récolte et conservation

Les litchis vivent très longtemps (plusieurs siècles). Les arbres adultes donnent de 100 à 500 kg de fruits.

A Java, floraison juillet-septembre, récolte novembre-février.

Au Congo, deux récoltes : janvier faible, août forte. Première récolte à 6-7 ans.

A Madagascar et à la Réunion, récolte en novembre-décembre (côte Est et Nossi Bé).

La récolte du litchi dans la région de Tamatave s'effectue dans un temps très court (environ 3 semaines) en novembre-décembre. Les arbres sont dispersés et souvent éloignés d'un centre. Beaucoup de fruits ne sont pas récoltés.

Il faut donc prolonger la conservation du fruit pour l'amener à être commercialisé dans un laps de temps plus échelonné.

Deux conditions sont requises pour la conservation de la couleur de la peau et de la qualité gustative de la chair :

— ambiance humide,

— maintien du fruit à une température basse.

La technique de surgélation mise au point par l'IRFA devrait permettre de développer la durée de commercialisation du fruit.

MANGUIER

Anacardiacée — **Mango**
Mangifera indica — **Manga**

1. BUTS DE LA CULTURE

La mangue, consommée fraîche, est un fruit très apprécié dans toute l'Afrique occidentale.

On peut également en faire de la compote, de la confiture et du jus.

Ce fruit commence à faire son apparition en Europe.

2. BOTANIQUE

Le manguier est originaire d'Inde.

2.1. Description

C'est un arbre qui peut parfois atteindre 30 m de haut. Les sujets francs de pied ont un volume plus grand et une forme plus élancée que les plans greffés. Son feuillage vert sombre donne beaucoup d'ombre (les feuilles sont souvent rouges quand elles sont jeunes). Son système radiculaire est pivotant.

La fécondation est croisée. Cycle floral de 105 à 130 jours.

Les graines sont généralement monoembryonnées, quelquefois polyembryonnées.

Les panicules florales sont en général terminales. L'ensemble de l'arbre peut porter de 8 000 à 10 000 fleurs.

Les mangues suspendues à de longs pédoncules sont « des drupes dont la forme est très variable selon les variétés. Leurs poids peut aller de 50 g à plus de 2 kg » (1).

Leur peau est peu épaisse, mais coriace. Elle peut rester verte à maturité ou se colorer uniformément en jaune ou être lavée de rouge plus ou moins intense.

« La chair est jaune-orangée et juteuse. Elle entoure un noyau plus ou moins gros, aplati... et portant des fibres... nombreuses et résistantes dans le mango et les variétés peu améliorées. Ces dernières possèdent en plus un goût prononcé de térébenthine qui rebute le consommateur européen » (1).

« Dans les bonnes variétés, les fibres sont peu nombreuses et même inexistantes » (1).

« La chair est très onctueuse avec une saveur très agréable » (1).

2.2. Variétés

Mangifera indica présente de nombreuses variétés qui, suivant leur forme, peuvent être classées en 4 groupes :

(1) J.F. Leroy. Les fruits tropicaux et subtropicaux. Que sais-je. Presses Universitaires de France, page 103.

— **Indiennes** : peu rencontrées en Afrique, formes tortueuses.
— **Hybrides américaines** : forme élancée, exemple "Smith".
— **Antillaises** : forme arrondie, exemple « Amélie ».
— **Indo-chinoises** : intermédiaire entre indiennes et hybrides, forme élancée, légèrement tortueuse, ex. : Xoaïcatmytho.

Une bonne variété commerciale doit avoir une haute productivité et donner des fruits d'au moins 300 g et à petit noyau (60 à 80 % de pulpe).

Certaines variétés donnent des fruits atteignant 500 à 600 g (Kent, Haden, Smith) avec 80 à 90 % de pulpe.

3. ÉCOLOGIE

3.1. Climat

— Pluviométrie minimum : 1 000 mm à 1 200 mm.
— Quatre à six mois de saison sèche, avec moins de 60 mm par mois, favorisent la production.
— La floraison doit avoir lieu en saison sèche, après une pluie de courte durée en principe suffisante pour déclencher la sortie des bourgeons floraux (« pluie des mangues »). La pluie pendant la floraison provoque la chute des fleurs.
— Température moyenne du mois le plus froid : 15° C.
— L'insolation, à maturité, améliore couleur et parfum des fruits. Elle est absolument nécessaire pour la nouaison.

3.2. Sols

Le manguier demande des sols sains, sablo-limoneux, bien drainés. Il admet pourtant une nappe phréatique plus haute que celle de l'avocatier, pH : 5,5 à 6,5.

4. CULTURE

Avant d'établir une plantation, il est nécessaire de consulter un spécialiste pour le choix de la variété la mieux adaptée aux conditions écologiques.

4.1. Multiplication

— **Semis** en germoir de noyaux décortiqués, levée en 2 à 3 semaines.
— Repiquage en pot et plus rarement en **pépinière**.
— **Greffage** en fente de côté ou à l'anglaise sur porte-greffe d'origine locale : 75 à 90 % de réussite.

L'amélioration du verger traditionnel peut facilement être réalisée par surgreffage. La mise à fruit après surgreffage est très rapide (parfois dès la 2e année).

4.2. Mise en place

Espacements au carré 10 x 10 en moyenne (D = 100 pieds/ha) (selon les conditions climatiques 8 x 8 ou 12 x 12).

La transplantation est délicate, elle se fera en début de saison des pluies, après réduction du système foliaire avec plants en motte.

4.3. Entretien

Dans les premières années, on peut envisager une culture intercalaire.
La taille n'est qu'une taille de formation.

4.4. Fumure

Dans les cinq premières années fumure azoto-potassique.
En période de production on conseille l'équilibre 1-1-2 : par exemple : par arbre 500 g chaque année d'âge de la formule 10-10-20 jusqu'à 10 ans.
Mais la formule de fumure est à étudier suivant climat et surtout rentabilité de la production.

4.5. Rendements

Première récolte : 4 à 6 ans après greffage.
Production de fruits (plants greffés) : très variable suivant la variété, allant de 50 kg à 200 kg et plus pour des sujets sélectionnés et bien entretenus.
Le rapport pulpe/fruit est voisin de 70 à 80 % pour les variétés sélectionnées et de 60 à 75 % pour les variétés locales.

5. ENNEMIS-MALADIES

Nature		Traitements
— Anthracnose	Avortement des fleurs et sur fruits	Pulvérisations cupriques juste avant la floraison et pendant formation fruits
— Scab	Idem	Idem
— Bactériose		Idem
— Cochenilles		Parathion
— Mouche des fruits — Cécydomye		Destruction des fruits attaqués. Appâts empoisonnés. Pulvérisation de Malathion. Fumigations de bromure de méthyle pour détruire les larves sur les fruits attaqués, préalablement mis en tas.

PALMIER DATTIER

1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE - LES OASIS

Les oasis s'étendent, dans le monde, sur environ un million d'hectares. Elles font vivre directement 7 à 10 millions de personnes et offrent des modèles de systèmes de production extrêmement performants dans des milieux marqués par l'aridité : les zones désertiques.

Il faut voir dans l'oasis une zone de refuge, un îlot de survie, mais aussi un pôle de développement. Elle nourrit les sédentaires, accueille les nomades, produit et échange avec l'extérieur, c'est un lieu de production, d'échange, de transit, une base pour la conquête d'espaces environnants.

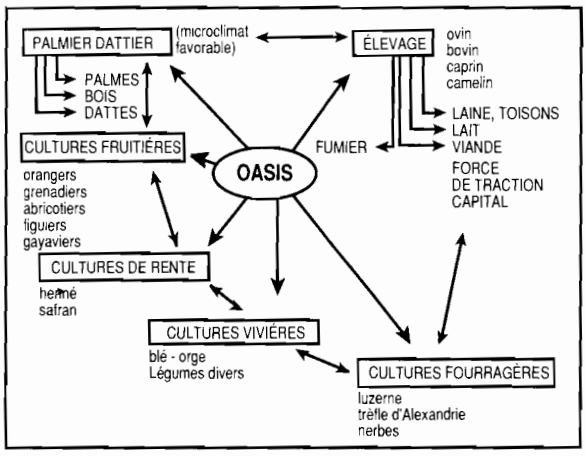
Ce système de production intensif d'une grande complexité est toujours en équilibre fragile.

1.1. Les systèmes de production oasiens

Les différents types d'organisation pour l'accès à l'eau, les localisations géographiques diversifiées des oasis, l'histoire des sociétés agraires qui les peuplent et le rôle qu'elles ont joué sont autant de critères qui permettent de caractériser plusieurs types de systèmes de production oasiens toujours fonctionnels à la fin du XX^{ème} siècle, malgré quelques vicissitudes.

1.1.1. INTER-RELATIONS DES COMPOSANTES DE L'OASIS

La vie de l'oasis s'organise autour de la ressource précieuse parce que rare : l'eau. Le palmier dattier, l'élevage, des cultures où différents étages s'associent de façon plus ou moins harmonieuse.



1.1.2. TYPOLOGIE

Entre le système oasien intensifié, de type marocain et la palmeraie de simple cueillette associant élevage caprin ou camelin extensif (en Mauritanie ou au Tchad par exemple) de nombreux systèmes de production diversifiés cohabitent. A des niveaux de pratiques culturales plus ou moins intensives, correspondent des pratiques d'élevage elles-mêmes plus ou moins extensives.

La « densité » de l'association agriculture-élevage est souvent révélatrice de la disponibilité des ressources en eau et de leur niveau d'exploitation.

On distingue alors **4 types d'oasis** :

1 - Les oasis dans lesquelles les travaux agricoles se limitent à la cueillette des dattes et parfois à la pollinisation des palmiers, correspondent à deux types de situation :

• **Type A** : l'irrigation complémentaire de la palmeraie n'est plus possible, elle est en voie d'abandon, seule l'activité de cueillette persiste (manque d'eau ou impossibilité de travail par ensablement ou encore par manque de main-d'œuvre — Adrar Mauritanien, Ifoghas au Mali...)

• **Type B** : les ressources en eau directement disponibles sont suffisantes, le palmier en fond de talweg exploite directement les ressources de la nappe et l'irrigation complémentaire des palmiers n'est pas jugée nécessaire. Les travaux d'entretien sont limités au strict minimum (pollinisation — récolte) et il n'y a pas de sous-culture.

L'activité dominante n'est pas la phœniciculture. Les phœniciculteurs sont d'abord des éleveurs (grands transhumants) se déplaçant une partie de l'année. Ils laissent sur place, dans la palmeraie, quelques membres de la famille avec quelques animaux (ovins et surtout caprins), et recherchent à l'extérieur de l'oasis des pâturages pour leurs dromadaires. (Oasis de ce type au Soudan, au Tchad...)

	AGRICULTURE	Intensité des relations	ELEVAGE
Type A	Palmeraie de cueillette Peu ou pas de pratiques culturales		
Type B	Palmeraie seule Pas de cultures associées		Elevage extensif associé
Type C	Palmeraie avec quelques associations culturales		Elevage extensif Début d'élevage intensif
Type D	Palmeraie avec sous- cultures associées de plus en plus intensifiées Céréales Arboriculture fruitière Cultures maraîchères Cultures de rente Cultures fourragères		Elevage extensif associé dominant Plusieurs espèces élevées : ovins, bovins, caprins, camelins Elevage ovin D'Mane

2 - Un autre type d'oasis est constitué par celles entretenues et irriguées avec palmiers dattiers et quelques rares associations culturales (**type C**). Il s'agit souvent d'oasis de repli où des éleveurs, ayant perdu récemment leurs troupeaux, pratiquent depuis peu l'agriculture sous palmeraie en vue de reconstituer progressivement leur cheptel (palmeraies du Tagant en Mauritanie).

3 - Le dernier type d'association (**type D**) est celui des palmeraies cultivées en bon état, avec cultures sous-jacentes présentant différentes formes d'organisation et d'intensification (sud du Maroc,...).

a : cultures céréalières uniquement (blé, orge, sorgho)

b : a + cultures maraîchères

c : a + b (totalement ou en partie) + culture de rente (henné)

d : a + b + c (totalement ou en partie) + arboriculture fruitière

e : cultures sous-jacentes des types précédents + cultures fourragères avec élevage sédentarisé associé.

1.2. Des contraintes qui fragilisent les systèmes de production oasiens

Du plus simple au plus complexe, tous ces systèmes de production sont en équilibre fragile car les contraintes qu'ils subissent sont multiples comme la pression démographique dans les oasis qui induit un morcellement progressif des parcelles familiales incompatible avec leur mise en valeur ; les systèmes fonciers rigides ; la concurrence pour les ressources en eau entre moyens d'exhaure traditionnels et mécanisés à débit élevé qui entraînent une baisse de la nappe phréatique ; le développement d'une maladie cryptogamique appelée Bayoud au Maghreb (*Fusarium oxysporum*) qui a déjà détruit la moitié des palmeraies marocaines qui s'étend vers l'ouest du Maghreb et fait de nombreux dégâts en Algérie ; ou enfin, les nouvelles orientations des échanges économiques, l'évolution des groupes sociaux et des relations de production entre l'oasis et son environnement national et international.

Toutes ces contraintes anciennes ou nouvelles fragilisent les équilibres issus de travaux des « oasiens » depuis de nombreuses générations. Maintenir ces équilibres, sauvegarder les oasis, les réhabiliter ou en créer de nouvelles, impliquent de s'attacher à résoudre une série de problèmes majeurs concernant :

• **La gestion des ressources en eau des oasis** pour adapter le système d'exploitation d'exhaure et de drainage à la ressource disponible et dimensionner la taille de parcelles oasiennes. Des ouvrages d'aménagement des oueds favorisent le rechargement des nappes, et rentabiliseront les efforts importants que sont l'installation d'une palmeraie.

• **La gestion et le maintien de la fertilité des sols de palmeraie** car, sous l'action de la température élevée et des lessivages répétés dus à l'irrigation, la matière organique se dégrade très rapidement. Maintenir des niveaux de productivité élevés implique donc un apport de matière organique permanent, donc la présence d'un élevage dans (ou proche de) l'oasis. La maîtrise de l'association agriculture-élevage est essentielle pour la survie de l'oasis.

• **Le maintien de l'équilibre biologique de l'oasis**. Les systèmes de production oasiens sont constitués d'associations complexes. La protection

phytosanitaire des palmiers et des sous-cultures oblige à tenir compte aussi de l'équilibre entre ravageurs des cultures et leurs propres prédateurs.

• **L'organisation sociale de l'oasis**, les migrations, l'évolution de l'emploi. Si les oasis ont dans un passé récent été considérées comme source de main d'œuvre pour le développement des industries des grandes villes du pays ou de l'étranger, un phénomène migratoire inverse commence à s'observer, accentué par la « crise mondiale ». Dans les oasis du sud du Sahara, des nouvelles relations s'établissent entre les agricultures sédentaires et les éleveurs en cours de sédentarisation qui se mettent à pratiquer une « proto-agriculture » oasienne. Ces nouvelles relations induisent des changements importants dans les conditions d'accès aux ressources en sol et en eau de l'oasis. Maintenir son équilibre nécessite la prise en compte de ces nouveaux problèmes.

Quelles que soient les solutions proposées face à ces grands problèmes, il est donc essentiel de bien connaître l'histoire, le fonctionnement et les perspectives d'évolution des systèmes agricoles oasiens avant de vouloir les modifier. L'approche systémique est, à ce propos, tout-à-fait opérationnelle (enquêtes, suivis, expérimentations en milieu réel, transfert de technologie...) et devrait permettre de proposer des scénarios de développement appropriés.

2. LE PALMIER DATTIER

Monocotylédone — **Date plam**
Phœnix dactylifera — **Palmera dactilifera**

Le Palmier dattier constitue l'armature de l'écophytocénose des oasis en créant un mésoclimat favorable à la vie des hommes, de ses cultures et de son cheptel. Il permet à l'homme de se maintenir dans un milieu désertique difficile.

2.1. Généralités sur le palmier dattier

2.1.1. Botanique

a) **Le tronc**

Arbre à tronc cylindrique (stipe) pouvant atteindre 30 m de haut et 1,10 m de diamètre. Il est recouvert à sa surface par la base des palmes passées et coupées et par un fibrillum : le lif.

Jamais ramifié, il émet à la base des rejets qui servent à multiplier la variété par bouturage. On observe sur certains individus des gourmands qui se développent à des niveaux différents du tronc.

b) **Le système foliaire**

Dans la partie haute, il porte une couronne de feuilles composées pennées : les palmes (jusqu'à 200) qui vivent de 3 à 7 ans.

Les folioles sont disposées en 2 rangées de chaque côté de la nervure centrale ou rachis. On en compte jusqu'à 250, auxquelles viennent s'ajouter les épines de la base du rachis.

Chaque année cet arbre à croissance continue donne 10 à 20 palmes qui se déploient à partie du cœur de la couronne (pollyphore).

c) **Le système racinaire**

Le système racinaire est fasciculé et dense. Les plus longues racines peuvent puiser l'eau à plus de 6 mètres de profondeur lorsque l'arbre est adulte.

d) **Les inflorescences et les fleurs**

Comme tous les Phœnix, le Palmier dattier est dioïque. Chez les deux sexes, 40 à 130 épis (ou « épillets ») portant chacun 15 à 90 fleurs sont groupées en inflorescence protégée par de grandes bractées ligneuses closes, appelées spathes. Elles se développent à l'aisselle des feuilles de la partie coronaire du tronc et se fendent à maturité.

Les fleurs sont unisexuées, pratiquement sessiles de couleur ivoire (plus ou moins jaune ou vert selon le sexe et la variété).

Lorsque les fleurs femelles sont fécondées, un seul des 3 carpelles indépendants uni-ovulés se développe et donnera un fruit.

S'il n'y a pas fécondation, les 3 carpelles se développent et donnent 1, 2 ou 3 fruits parthénocarpiques insérés sur la même cupule. Ils n'arrivent que rarement à maturité.

Les fleurs mâles laissent échapper à maturité un pollen blanc crémeux à odeur caractéristique de pâte à pain.

e) **Le fruit**

La datte qui à maturité est de couleur jaune, rouge, bordeau ou brune est formée extérieurement par un épicarpe cireux (tégumeux) puis par un mésocarpe riche en sucre (chair) et par un endocarpe parcheminé appliqué directement sur la graine (« noyau »). La durée d'évolution des fruits est de 100 à 250 jours selon les variétés et les conditions du milieu.

2.1.2. AIRE DE RÉPARTITION

Le Palmier dattier est une plante xérophile. A quelques exceptions près, il ne vit que dans les régions arides et semi-arides chaudes.

2.1.3. LES RESSOURCES TIRÉES DU PALMIER DATTIER

Le palmier dattier est « l'arbre providence » des régions désertiques où il croît, car il donne une gamme étendue de produits :

— la datte est un aliment de grande valeur énergétique :
  • 1 kg de pulpe de dattes mûres 3 000 calories
  • 1 kg de graines 1 300 calories

Elle peut être consommée telle quelle ou transformée (pâtes, confiture, farine, alcool...).

Les graines servent à l'engraissement des animaux : 1 kg de graines concassées = 1 unité fourragère.

— le tronc sert en menuiserie (charpente) ;
— les palmes sont utilisées pour la confection des toits et des terrasses, pour clôturer les parcelles, pour les travaux de vannerie et de sparterie (paniers, couffins, chapeaux, nattes...) et pour la fabrication de meubles (rachis) ;
— le lif est transformé en ficelles, cordes, tissages divers.

2.2. Les besoins du palmier dattier

Le palmier doit bénéficier, pour donner une production normale :

— d'un climat chaud, sec et ensoleillé

- 9° C : les palmes gèlent
+ 7° C : limite basse de végétation
+ 32° à 38° C : maximum d'intensité végétative
+ 45° C : limite haute de végétation
+ 65° C : le palmier ne semble pas souffrir s'il est correctement alimenté en eau.

Les besoins cumulés de chaleur pour la fructification varient avec les cultivars entre 3 700° C et 5 500° C ;

— d'une alimentation en eau suffisante, dont le volume dépend de la situation géoclimatique et de la nature de l'eau.

Le chiffre de base est de 25 000 m^3/ha/an plus ou moins 15 000 m^3, par exemple pour des palmiers bénéficiant d'une saison des pluies de 450 mm et d'une nappe à 5 m de profondeur, on indique des besoins en eau de 15 000 m^3/ha ;

— d'un sol neutre, profond, bien drainé, assez riche ou susceptible d'être fertilisé.

La qualité éventuelle des sols des palmeraies est la perméabilité, qualité d'autant plus importante lorsque ceux-ci sont irrigués avec des eaux saumâtres ou que le sol est salé.

2.3. Phœniciculture

2.3.1. PRÉPARATION DU TERRAIN POUR L'INSTALLATION D'UNE PALMERAIE

a) **Nivellement** : la pente optimale est comprise entre 1 et 5 % pour permettre une bonne circulation des eaux d'irrigation et de drainage.

b) **Le système d'irrigation et son corollaire : le système de drainage**

Le terrain est organisé en planches courtes communiquant entre elles, avec une pente de 3 % environ.

Le centre est occupé par les cultures basses et les ados par les palmiers dattiers.

On considère que pour une eau d'irrigation contenant 7 g de sel/litre, il faut installer un drain toute les 2 rangées de palmiers (toutes les rangées pour 9 g/l).

c) **Les brises-vents**

Il est conseillé d'établir les lignes d'arbres (3 lignes espacées de moins de 50 m) à une distance variant entre 50 et 150 m de la limite des palmiers.

Les lignes d'arbres pourront être disposées perpendiculairement aux vents dominants (brises-vents d'arrêt) ou avec un angle de 45° (brises-vents à défilement).

Les haies de palmes sont efficaces contre les vents de sable.

2.3.2 PLANTATION DU PALMIER DATTIER

a) **Les variétés à multiplier**

Ce que l'on désigne sous le nom de variétés chez le Palmier dattier est un ensemble d'individus, multipliés végétativement à partir des rejets. Il n'existe à ce jour que des « variétés-population femelle ».

On peut citer comme exemple : Deglet Nour (Algérie), Bou Faggous (Maroc), Sahidi (Trah), Siwi (Egypte).

Pour une nouvelle plantation, les variétés doivent être susceptibles de produire en quantité et en qualité des dattes acceptables sur le marché national et si possible international. Elles doivent être adaptées aux conditions agro-climatiques locales.

b) **Densité de plantation**

On préférera la plantation en carré à celle en quinconce, avec une distance entre les palmiers variant entre 7 et 10 m en fonction des cultivars et des cultures sous-jacentes. Cet espacement permet aux cultures sous le palmier de se développer correctement.

c) **Choix du rejet, sevrage, plantation**

Le choix des rejets doit se faire sur des pieds-mères en bonne santé.

Le sevrage consiste à séparer un rejet de 15 à 20 kg du pied-mère par une coupe nette à l'endroit de son point d'attache.

On opèrera de la manière suivante :

1. Rabattre au sécateur les palmes du rejet afin de permettre une approche facile du stipe.
2. Dégager la terre autour du point d'attache.
3. Séparer le rejet du pied-mère en évitant tout arrachement, hachures ou blessures.
4. Nettoyer le rejet en réduisant sévèrement l'appareil foliaire et en enlevant les racines blessées.
5. Badigeonner la plaie de coupe avec un produit fongicide et cicatriciel.
6. Enterrer le rejet de 35 à 40 cm selon sa grosseur, dans un trou préalablement préparé (1 m^3 environ) et rebouché en incorporant une fumure de fond.
7. Protéger le rejet avec des palmes sèches ou des roseaux.
8. Une première irrigation immédiatement après ces opérations permettra de rasseoir le sol.

d) **La place du mâle**

Le rejet mâle sera choisi sur un palmier vigoureux, possédant des hampes florales bien larges et produisant régulièrement beaucoup de pollen fertile.

Il faut prévoir 1 mâle pour 40 femelles environ.

2.3.3. ENTRETIEN D'UNE PALMERAIE

a) **Irrigation**

Pour des plantations adultes, la dose d'irrigation doit humecter une tranche de sol d' au minimum 1,20 m. Il est recommandé de toujours utiliser des volumes de plus de 3000 m^3/ha et par dose d'irrigation. D'une manière générale, le rythme d'irrigation s'accélère et la quantité d'eau augmente en été pour apporter les besoins nécessaires au système de culture.

b) **Fumure**

Pendant les 6 premières années, on épand 250 g d'azote sous la couronne des jeunes palmiers.

Après 6 ans :

Age du palmier dattier	Production dattes (kg/ha)	Fumiers (kg/ha)	Engrais complémentaires	
			Azote (kg/ha)	Acide phosphorique (kg/ha)
6 ans	800	1 000	40	20
9 ans	2 000	2 000	50	20
12 ans	4 500	4 000	70	20
15 ans	6 000	8 000	100	30

L'application de la fumure se fera en 2 fois :
après la récolte : fumier (1), engrais azoté (1/3), phosphaté (1)
à la fécondation : engrais azoté (2/3)

c) **Taille-toilette du palmier dattier**

Il faut chaque année couper les palmes sèches, dégager la base du stipe des mauvaises herbes, sevrer les rejets de plus de 20 kg pour soulager le pied-mère et les mettre en pépinière.

2.3.4. MALADIES ET PARASITES

Quelques exemples parmi les plus importants :

Maladies ou Parasites		**Dégats ou symptomes**	**Moyens de lutte**
Fusarium oxysporum (Bayoud)	fusariose vasculaire	Flétrissement et blanchissement progressif des palmes entrainant la mort de l'arbre	*Sélection d'espèces résistantes*
Olygonychus spp.	acariens	Toile soyeuse sur les fruits empêchant le développement du régime	*Poudrage au souffre*
Parlatoria blanchardi	Cochenille	Encroûtement cireux et piqures sur les parties chlorophyliennes et les fruits	*Lutte biologique prioritaire* (Coccinelles : flambage ou Parathion, Malathion...)
Ectomyelois spp. (pyrale)	Lépidoptère	Infestation des dattes	*Lutte chimique contrôlée*
Ommatissus binotatus	Punaise	Piqures et dépôt de miella favorisant des contaminations secondaires	*Malathion*

Très souvent les problèmes de pourriture due à une hygrométrie trop élevée des fruits peuvent être évités en ensachant les régimes.

2.3.5. PRODUCTION DE DATTES

a) **Récoltes du pollen**

L'inflorescence mâle est récoltée juste avant éclatement, les épillets sont détachés de la hampe par groupe de 3 ou 4 mis à sécher.

b) **Fécondation des inflorescences femelles**

Dès éclatement de la spathe (au printemps), les inflorescences femelles sont fécondables et ceci pendant 5 à 10 jours suivant les variétés.

Les épillets mâles sont placés au niveau des inflorescences femelles (méthode traditionnelle).

On considère qu'il faut 50 à 60 % de fleurs fécondées pour obtenir une belle récolte.

L'utilisation de poudreuse est possible avec du pollen dilué dans du plâtre ou de la farine (pollinisation mécanisée).

c) **Limitation des régimes de palmiers dattiers femelles**

Jusqu'à 6 ans, il est recommandable de supprimer toutes les inflorescences (ralentissement de la croissance). A 8 ans, on peut conserver 4 régimes, à 12 ans : 8.

Un palmier adulte vigoureux peut en porter 15.

d) **Eclaircissage des régimes**

Cette opération consiste à couper entièrement ou partiellement certains épillets du centre ou mal fécondés (environ 10 % des fruits pour la variété Deglet Nour).

e) **Récolte des dattes**

La récolte s'effectue de l'été à l'automne, en tenant compte de la variété, du climat et des exigences commerciales.

Il existe 2 modes de récolte : le grapillage, au fur et à mesure de leur maturité et la récolte dite « totale » où le régime est coupé à la base de la hampe fructifère.

Un palmier bien entretenu peut produire 60 kg de dattes par récolte.

f) **Triage**

Les dattes sont triées en différentes catégories de maturité identique et en lots homogènes : même variété, élimination des dattes touchées, avortées, parasitées, fermentées, écarter les corps étrangers.

g) **Stockage**

Pour conserver les dattes dans de bonnes conditions, il faut les entreposer à l'abri, dans un endroit sec, aéré et sain, sur des claies puis en cagettes. Une pièce au sol cimenté avec des moustiquaires aux ouvertures fait parfaitement l'affaire.

3. LA MULTIPLICATION IN VITRO DU PALMIER DATTIER

3.1. La multiplication traditionnelle du palmier dattier

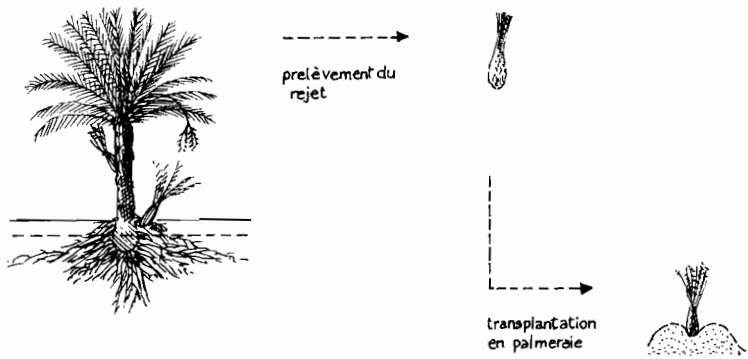
La multiplication traditionnelle du palmer dattier est de type végétatif. Elle repose sur l'existence de rejets qui se développent à la base des pieds-mères.

Quand ces rejets ont atteint une quinzaine de kilogrammes, ils peuvent être séparés du pied-mère et transplantés.

Cette technique est totalement dépendante de la disponibilité en rejets des pieds-mères qui est réduite en quantité (de 5 à 40 selon les variétés) et limitée dans le temps (la phase de développement végétatif du pied-mère).

Les contraintes de cette technique ne permettent ni le remplacement massif des palmiers âgés qui représentent une forte proportion des plantations existantes dans le monde, ni la diffusion rapide de variétés sélectionnées (clones de qualité, individus résistant au bayoud, etc...)

Technique de multiplication traditionnelle



3.2. La multiplication in vitro du palmier dattier

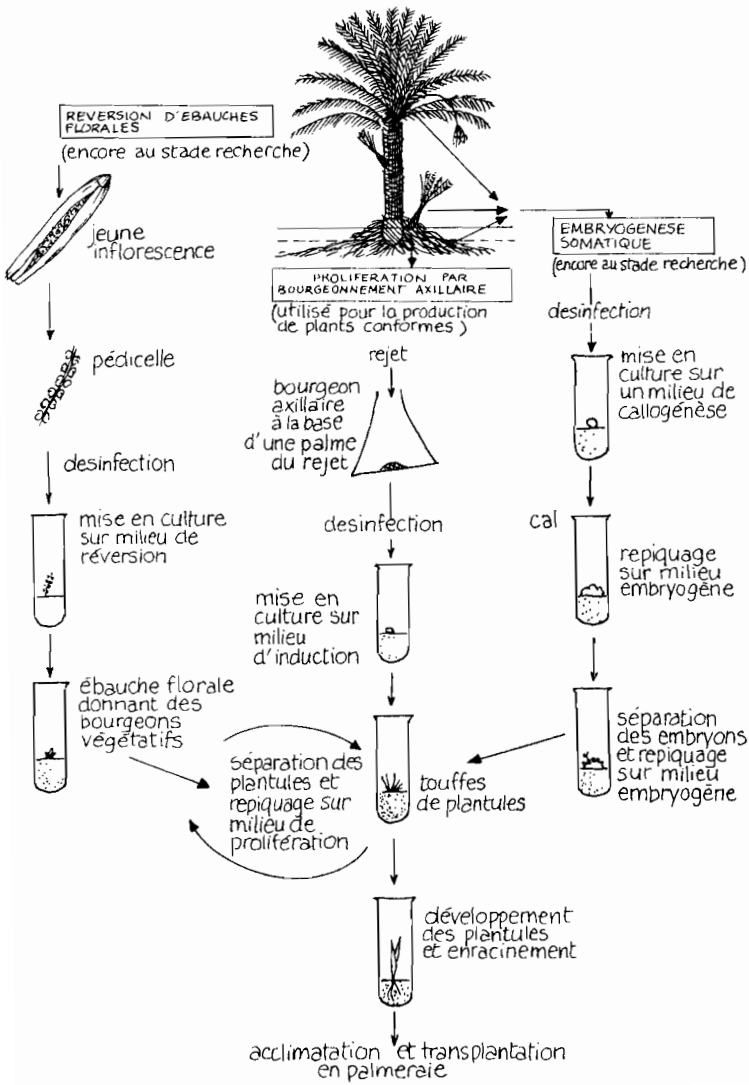
3.2.1. LES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE MULTIPLICATION IN VITRO DU PALMIER DATTIER

Chez le palmier dattier, les variétés propagées par les agriculteurs sont au sens des clones, dont le comportement, lié à une sélection très poussée s'apparente aux cépages des vignobles. Aussi, la multiplication in vitro du palmier dattier doit-elle impérativement respecter la conformité des plants produits aux variétés mises en culture.

Trois méthodes de multiplication in vitro du palmier dattier ont été étudiées : la prolifération par bourgeonnement axillaire, la réversion d'ébauches florales et l'embryogénèse somatique. Seule la première technique est actuellement opérationnelle : les vitroplants produits par cette technique ont donné des dattes conformes à celles du palmier « mère ». Par contre, les deux autres méthodes font encore l'objet de recherches, en particulier celle de l'embryogénèse somatique en raison du non respect strict de la conformité auquel elle conduit pour l'instant.

Le schéma ci-après décrit sommairement ces trois méthodes.

Technique de multiplication par culture *in vitro*



3.2.2. LES POINTS ESSENTIELS DE LA TECHNIQUE DE MULTIPLICATION PAR BOURGEONNEMENT AXILLAIRE

1. Sélection des pieds-mères sur la base d'études phœnologiques complètes portant sur les caractères végétatifs, pomologiques et agronomiques.
2. Sevrage de jeunes rejets en limitant au minimum la plaie de coupe.
3. Prélèvement et désinfectation des bourgeons axilliaires et terminaux dans les plus brefs délais après le sevrage.
4. Contrôle strict et continu des cultures afin d'éliminer tout développement d'une organogénèse non axillaire (en particulier éviter l'emploi de 2.4 D et plus généralement de concentrations hormonales élevées).

ORGANISMES SPÉCIALISÉS

GRIDAO : Groupe de Recherche et d'Information pour le Développement de l'Agriculture d'Oasis.

DSA/CIRAD : BP 5035 - Montpellier Cedex

Secrétariat : V. DOLLÉ

Les objectifs du GRIDAO :

Le groupe de Recherche et d'Information pour le Développement de l'Agriculture d' Oasis a les objectifs qui suivent :

— Mobiliser les compétences à la demande. Un « carnet » informatisé de 200 noms touche 30 pays.
— Rassembler l'information sur les oasis. Un fichier informatisé de 700 références bibliographiques est déjà disponible.
— Faire circuler l'information. Un bulletin de liaison est à l'étude.
— Publier un ouvrage de base en agronomie oasienne.
— Former des agronomes et des techniciens spécialisés en agronomie oasienne.
— Réunir périodiquement les chercheurs concernés. Un premier séminaire sur les systèmes agricoles oasiens s'est tenu à Tozeur (Tunisie) en novembre 1988.
— Apporter un appui technique direct partout où une demande émerge.

GRFP : Groupement de Recherche Français sur le palmier dattier

Le GRFP :

— associe des chercheurs de l'INRA et de TOTAL CFP dans la mise au point de la multiplication in vitro conforme au palmier dattier ;
— dispose d'une unité de production de vitroplants de palmier dattier de dimension préindustrielle ;
— contrôle des parcelles de comportement de vitroplants dans 4 pays du Moyen Orient, 4 d'Afrique, en Espagne et en Australie ;
— effectue des consultations sur les projets de réhabilitation et de création de palmeraies et sur toutes les questions relatives à l'identification et à la sélection des variétés de palmier dattier ;
— il assure la formation de techniciens.

PAPAYER

Caricacée
Carica papaya L.

Papaw-tree (angl.)
Papaya (américain)
Papayera

1. BUTS DE LA CULTURE

« La pulpe du fruit, de la consistance de celle du melon... est consommée en hors-d'oeuvre, en dessert ou en salade mélangée avec d'autres fruits » (1).

« La peau de la papaye, verte, incisée, laisser perler un liquide blanc qui se coagule rapidement. Ce latex desséché contient un principe actif, la papaïne dont les propriétés se rapprochent de celles de la pepsine et de la trypsine » (1) (pour attendrir un morceau de viande un peu trop dur, il suffit de le laisser quelques heures entre deux feuilles de papayer).

« L'action digestive et dissolvante des protéines, qui caractérise la papaye, est utilisée en thérapeutique, dans l'industrie du cuir, de la laine et de la soie, en brasserie et dans l'industrie alimentaire » (1).

2. BOTANIQUE

Le papayer serait originaire du Mexique « c'est un arbre généralement non ramifié dont le tronc, non ligneux et fortement marqué par les cicatrices foliaires, atteint 3 à 8 m de haut. Il se termine par une couronne de grandes feuilles à 7 lobes, longuement pétiolées » (1).

Il n'existe que des types régionaux et temporaires. Le type Solo à Hawaï a fait l'objet d'une sélection poussée.

« La papayer est ordinairement un arbre dioïque » (mais il existe des types hermaphrodites). « Les fleurs mâles apparaissent sur de longues panicules ramifiées à l'aisselle des feuilles, tandis que les fleurs femelles naissent isolées ou par groupes de 2 ou 3, sur la partie supérieure du tronc » (2) et produisent de gros fruits arrondis ovoïdes ou presque filiformes, de couleur verte à jaunâtre à maturité. La section du fruit (papaye) montre une cavité centrale remplie de petites graines noires, entourées de mucilage. La chair est juteuse, de couleur jaune orangée, parfumée, épaisse de 2 à 3 cm. Le fruit pèse de un à plusieurs kilos et est très apprécié (le type Solo donne des fruits beaucoup plus petits de 3 à 400 g qui sont exportés vers l'Europe).

« Au point de vue génétique, il a été établi que :

1) Lorsque les fleurs femelles sont fécondées par des fleurs mâles, leur descendance est constitué de 50 % de pieds mâles et 50 % de pieds femelles.

2) Lorsque des fleurs hermaphrodites sont autofécondées, leur descendance est de 66 % de pieds bisexués, 33 % de pieds femelles et moins de 5 % de pieds mâles.

(1) Les fruits tropicaux et subtropicaux, J.F. Leroy, Que sais-je ? Presses Universitaires de France, p. 110.

(2) Les fruits tropicaux, op. cit., p. 110.

3) Lorsque des fleurs femelles sont fécondées par du pollen de fleurs bisexuées, leur descendance est de 50 % de pieds bisexués et de 50 % de pieds femelles » (1).

3. ÉCOLOGIE

« Le papayer exige un climat chaud et une température moyenne d'environ 25° C, sans grands écarts.

Il demande une pluviométrie de 1 500 à 2 000 m bien répartie sur toute l'année ou des irrigations en fonction des périodes sèches.

Le sol doit cependant bien drainer et les terres légères, humidifiées et bien aérées sont préférables » (2).

4. CULTURE

On distingue les étapes suivants :

— **Germoir** : 15 à 20 jours.
— **Pépinière** : espacement 0,5 x 0,5 m de préférence en pots.
— **Mise en place** :
  Plantules de 50 cm.
  Trois de 0,50 m en tous sens.
  Écartement : 2 m x 2 m = 2 500/ha, ou lignes jumelées espacées de 4 m = 1 500/ha.
— **Entretien** : contrôle des herbes, paillage.
— **Cycle** : production utile pendant 3 à 4 ans ; début de production 10 mois après la mise en place.
— **Fumure** : 50 kg/arbre de fumier ou compost plus fumure minérale, 300 g d'azote et 200 g de potasse par pied et par an en 3 ou 4 applications.

« Bien que les arbres puissent vivre 10 ans et plus, leur exploitation n'est plus rentable au-delà de 3 ans lorsque l'on récolte la papaïne et de 4 à 5 ans lorsqu'on récolte les fruits ». (En culture intensive, la durée des variétés hawaïenne de type solo est généralement limitée à 2 ans).

« La récolte, qui a lieu pratiquement toute l'année, peut donner de 30 à 50 fruits par arbre » (2).

5. MALADIES ET ENNEMIS

« Le papayer est attaqué par de nombreux ennemis (insectes, nématodes, champignons, virus) dont le plus dangereux est un virus déterminant la mosaïque, et contre lequel on ne possède aucun moyen de lutte. Ce virus

(1) Van der Abeele et Vandenput, pages 791-792, cf. Bibliographie.
(2) Les fruits tropicaux, op. cit., page 111.

pouvant détruire une plantation en quelques semaines, on s'efforce donc de trouver des variétés résistantes » (1).

6. TECHNOLOGIE

C'est au Sri Lanka que débuta, vers 1900, la production de la papaïne.

La papaïne ne se prête à une extraction industrielle que dans les fruits. On pratique une incision de 1 mm de profondeur du pédoncule vers l'apex tous les 3-5 cm.

Le latex est recueilli sur des toiles circulaires fixées autour du pied. Rassemblé dans des récipients émaillés ou en aluminium, il est mis à sécher immédiatement soit au soleil, soit au four, à température inférieure à 60°C.

La qualité du produit est améliorée par un séchage sous vide.

Les rendements théoriques sont : 90 à 200 kg/ha de latex en première année de pleine fructification, la moitié en deuxième année.

Le rapport papaïne séchée/latex est voisin de 20 %.

SOUS CHAPITRE V — PLANTES INSECTICIDES

Pyrèthre (pyréthrine)
Légumineuses insecticides (Roténone) = *Derris elliptica - Lonchocarpus (Nicou) - Thephrosia (Vogelii)*
Tabac (v. sous-chapitre XII)

PYRÈTHRE

Composacée — **Pyrethrum**
Chrysanthemum — **Pelitre**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le pyrèthre est cultivé pour ses **fleurs** qui contiennent un produit insecticide : **« la pyréthrine ».**

C'est le seul insecticide qui soit doué d'un effet « d'assommoir ». Cette propriété est très recherchée et c'est la raison pour laquelle on utilise la pyréthrine dans tous les produits à action immédiate (insecticides ménagers en particulier).

La pyréthrine permet de détruire de très nombreux insectes : fourmis, moustiques, poux, punaises, mouches, chenilles, pucerons, puces, cafards, etc., et elle est inoffensive pour l'homme et tous les animaux à sang chaud. Aussi

(1) Les fruits tropicaux, op. cit., page 111.

utilise-t-on beaucoup le pyrèthre pour désinfecter les habitations, le logement des animaux domestiques, les entrepôts alimentaires, les bateaux, les avions, etc., pour protéger les jardins, les vergers, les cultures, etc.

On trouve la pyréthrine dans le commerce sous deux formes principales :

— les **poudres** : qui sont classées suivant leur degré de finesse. Elles perdent malheureusement assez vite leur pouvoir insecticide au contact de l'air,

— les **extraits** à 25 % de pyréthrine qui sont utilisés pour la préparation des aérosols, des liquides du genre Fly-tox, etc.

La pyréthrine est un produit très cher, mais on l'utilise à des doses très faibles (0,01 à 0,05 %) surtout à cause de ses propriétés synergiques : si on ajoute un produit chimique au pyrèthre, les propriétés toxiques du mélange sont augmentées.

La pyréthrine sert à préparer les serpentins anti-moustiques, des pommades pour traiter la gale, etc.

Le **marc de pyrèthre**, résidu de l'extraction des extraits de pyréthrine, peut servir d'aliment du bétail, tout comme les sons ou les issues des farines de céréales. Il sert le plus souvent à préparer les tortillons anti-moustiques.

Les **tiges** et les **feuilles** ne contiennent que très peu de pyréthrine et sont parfois réduites en poudre pour servir de succédanés aux poudres et extraits de pyréthrine.

2. BOTANIQUE

2.1. Origine et variété

Plusieurs variétés de *Chrysanthemum*, originaires du Proche-Orient ou d'Europe méridionale, contiennent des pyréthrines à propriétés insecticides intéressantes par leur effet de choc :

— *C. cinerariafolum* (Dalmatie) (pratiquement seule cultivée) ;

— *C. roseum* ;

— *C. marshalli.*

2.2. Caractéristiques

Le pyrèthre est une composée vivace, à racine pivotante, formant des touffes. Les inflorescences portent deux types de fleurons : des fleurons blancs stériles à la périphérie et au centre des fleurons à organes femelles et mâles dont les étamines arrivent à maturité avant le pistil. L'autofécondation n'est donc réalisable que par l'intermédiaire d'insectes, et la fécondation croisée est de règle.

3. ÉCOLOGIE

Le pyrèthre est une **plante d'altitude** : 1 100 à 1 800 m en Europe méridionale ; au-dessus de 1 900 m en Afrique équatoriale.

Il prospère sous des climats équatoriaux tempérés d'altitude, à température moyenne régulière et à forte insolation.

Acceptant en Europe des sols secs, calcaires, il préfère sous l'équateur des terrains riches et acides, à pH compris entre 5,8 et 6,8, riches en humus, en potasse et surtout bien drainés. Il accepte des sols caillouteux chimiquement riches.

4. CULTURE

4.1. Préparation du sol

Cette culture pérenne nécessite une préparation soignée car elle est sensible à l'envahissement par des adventices, ne protège pas le sol contre l'érosion et craint l'hydromorphie. Il faut donc prévoir :

— sous-solage, travaux antiérosifs sur pentes supérieures à 5 %,
— et drainage : un drain par dénivellation de 1,50 m.

En terrain accidenté, billons de 1 m à 1,20 m.

En terrain plat, bandes de 1,50 m surélevées de 20 à 30 cm.

4.2. Multiplication

Par éclats de souches sélectionnées ou par semis.

Inconvénients du semis :

— hétérogénéité des descendances ;
— couverture lente des sols (6 mois de retard par rapport aux éclats de souche) ;
— pépinière nécessaire.

Pépinière

Semis superficiel en lignes espacées de 5 à 6 cm ; 1 à 2 g de graines au mètre carré ; 100 g de semences contiennent 120 000 à 150 000 graines. Début de germination au 8-10^{e} jour, fin à la 3^{e} semaine. On élimine l'ombrage 6 à 8 semaines après la levée.

Les plants sont bons à mettre en place 4 à 5 mois après le semis : ils présentent 10 à 12 feuilles. Parfois, on pratique un premier repiquage à 6 feuilles.

1 kg de semence donne 60 000 plants.

Mise en place (plants issus de pépinière ou éclats de souches)

En début de saison des pluies, de préférence par temps brumeux et sur sol humide.

Écartements 60 à 80 cm entre billons, de 30 à 50 cm sur la ligne.

Densités de 20 000 à 40 000 pieds/ha.

4.3. Entretien

Lutte contre adventices, nettoyage des souches (ciseaux à haies), recépage des plants âgés.

4.4. Récolte

Le stade optimum de récolte des inflorescences se situe au moment de la **fécondation.** En fait, on organise un cycle de cueillette de 10 à 14 jours. Un

enfant entraîné ramasse par jour de 10 à 25 kg d'inflorescences fraîches **sans pédoncule**. On opère de préférence par temps sec.

4.5. Rendements

Début de production :
— 4 mois après plantation d'éclats de souche ;
— 6-7 mois après plantation de jeunes plantules.

La courbe de floraison suit la courbe de pluviométrie avec un décalage de 2 mois environ. On observe les productions maximum à la 2e ou 3e année puis une baisse rapide après la 4e année.

On compte 3 tonnes de pyrèthre sec par hectare en 4 ans (de 500 kg à 2 t par an).

5. MALADIES ET ENNEMIS

Contre la fonte des semis, il est nécessaire de limiter les arrosages.

Contre la Ramularia (nécrose de la hampe et des boutons), on utilise la taille sanitaire, la fumure et le recépage. L'utilisation des produits cupriques entraîne en cours de stockage une perte de 25 % de la teneur initiale en pyréthrines.

6. TECHNOLOGIE

Le séchage doit être effectué à l'ombre (3 jours au soleil réduisent de 20 % la teneur en pyréthrine).

Fanage à température inférieure à 40° C.

Séchage à température progressivement croissante (au-dessous de 60-75° C) sur des claies portant 4 à 5 kg d'inflorescences au mètre carré.

4 kg d'inflorescences fraîches donnent 1 kg d'inflorescences à 10 % d'eau.

Conditionnement en balles garnies de jute, cerclées, pesant 450 lb (209 kg).

Encombrement : 1,84 m^2 par tonne.

Teneur en pyréthrines : 1,5 à 2 %.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (en jt/ha)

ZAÏRE (culture manuelle)

Pépinière	485
Préparation du sol	506
Plantation	70
Entretien	174

7.2. Le pyrèthre

Il semble avoir un bel avenir devant lui car la pyréthrine ne présente pas les inconvénients des produits de synthèse (accumulation...). De plus, elle se dégrade facilement.

LÉGUMINEUSES INSECTICIDES ET ICHTYOTOXIQUES

• Elles doivent leurs propriétés à la Roténone ($C_{23}H_{22}O_6$) et à des composés voisins.

• Le principal problème de cet insecticide est celui de sa stabilisation :
  — il se décompose à l'air et à la lumière (ultra-violets) ainsi qu'en milieu alcalin ;
  — il ne se conserve qu'en poudre ou en extrait concentré à l'abri de la lumière.

• C'est un poison d'absorption, sans aucune nocivité pour l'homme et les animaux à sang chaud. En revanche, il est très efficace contre les insectes.

Derris Elliptica

Liane polymorphe indo-malaise où elle porte le nom de « Tuba ». Multiplication par boutures (0,50 m) de tiges ; plantation en sols sablonneux sur billons, en culture intercalaire sous ombrage. Roténone concentrée dans les racines récoltées après deux ans et séchées à l'air sous hangar.

Production : 1 200 kg/ha de racines séchées dont la teneur en roténone est fonction de leur origine (en moyenne : 15 à 16 % d'extraits éthérés, et 5 % de roténone) et de leur grosseur (les plus fines en contiennent plus : 8 à 12 %).

Lonchocarpus (Nicou)

Genre représenté par un grand nombre d'espèces en Amazonie portant le nom de « Cubé » au Brésil et « Tmibo » au Pérou.

Produit de cueillette : les racines fraîches, débitées et étuvées, sont réduites en poudre pour la fabrication d'extraits (jusqu'à 12 % de roténone).

Tephrosia (Vogelii)

Genre américain et africain utilisé pour la capture des poissons et ayant des propriétés insecticides.

Plante à port buissonnant dressé, cultivée parfois en plante de couverture (caféiers).

Le produit actif, la téphrosine (oxydéguéline), est disséminé dans toute la plante qui est entièrement pilée avant usage.

Amarante
Aubergine
Baselle
Chayotte
Chou vert
Chou palmiste
Gombo
Niébé
Laitue
Oignon
Piment
Pois du Cap
Poireau
Poivron
Pousse de Bambou
Tomate
Voandzou

CULTURES LÉGUMIÈRES

Les cultures légumières réagissent de manière spécifique aux conditions locales de température et d'insolation.

Elles sont également très exigeantes en ce qui concerne les caractères chimiques et physiques des sols, qui doivent être riches en matière organique et bien drainés.

En période sèche et fraîche, les légumes qui sont à la limite de leur adaptation climatique pousse mieux. Il y a à cette époque nécessité d'irrigation.

En climat tropical et équatorial, ces cultures sont plus faciles dans les zones d'altitude plus fraîches.

1. PRINCIPES A RESPECTER

D'une manière générale, il faut respecter les principes suivants que l'on peut classer dans l'ordre chronologique d'intervention :

- Choisir un terrain :
  — proche d'un centre de consommation facilement accessible ;
  — à fertilité potentielle élevée ;
  — d'aménagement facile (planage, clôture) ;
  — irrigable avec approvisionnement facile en eau douce (3 l/s ha en période de pointe).
- Établir un plan de culture, compte tenu des débouchés et des spéculations possibles (rotation).
- Organiser l'approvisionnement régulier en semences, matériel et produits.
- Préparer le sol soigneusement : dessouchement, défonçage, ameublement superficiel soigné, fumure de fond.
- Aménager les planches de culture et les pépinières, suivant la topographie et les vents (brise-vent).
- Pour les espèces repiquées, il est vivement recommandé de désinfecter le sol des pépinières ; l'utilisation de godets que l'on remplit de terre désinfectée est une bonne solution technique mais onéreuse.

QUELQUES RENSEIGNEMENTS SUR LES PRINCIPALES CULTURES LÉGUMIÈRES

Nom de la culture	Poids du litre de graines en g	Nombre de graines dans un gramme	Longévité moyenne en ans (1)	Durée germination (jours)	Profondeur (mm) du semis	Cycle (jours)	Poids de semences g/are de culture (2)	Rendement (kg/are)
Arachide	400	2-3	1	5-6		100-140	600	15-30
Aubergine	500	250	6	8-15	12	140-160	3 P	150-400
Betterave	250	50	6	6-8	5-10	90-120	100-150	100-250
Carotte	350	900	4-5	4-6	12	65-90	40-60	100-300
Céleri	480	2500	8	20	2-3	150-190	1-3 P	200-500
Chicorée	340	600	10	2	12	80-120	2-10 P	80-200
Choux cabus	700	300-375	5	3-6	6-12	100-150	15-30 P	100-400
Concombre	500	35	10	3-6	12-20	80-120	20-30	100-200
«des Antilles»	550	130	6					
Courges	400-425	3-6	6	4-8	18	130	20-30	100-200
Courgettes								200-500
Cresson Alénois	730	450	5	2	surface		120-300	100
Cresson de fontaine	580	4000	4	6-8				100-200 par coupe
Cumin de Malte	350	250	1					
Fève	620-750	0,4-0,5	6	4-5	30-40	90	3000	400-500 (gousses) 20-30 (graines)
Gesce	750	4	5					120-250
Gombo (Hibiscus)	620	15-18	5	8	20	80-100	30-40	40-80
Haricots	625-850	0,75 0,80	3	2-3	20-30	75 (vert) 120 (sec)	1000	20-70 10-20

Dolique	770	500-650	3					
Laitue	430	800	5	2-5	6-12	60-90	5-10 P	80-200
Lentille large	790	14	4	6-10			1000	10-15
Mâche d'Italie	280	1000	4	6-8	surface		60-80	50
Maïs sucré	640	4-5	2	6-8	25	60-90	300	100
Melons	360	35	5	5-8	12-20	110-150	20-30	60-150
Melons d'eau (pastèque)	460	5-6	6	6-8	20		10-30	200-400
Navet	670	450-700	5	2-3	12	50-80	25-40	100-200
Oignon	500	250	2	7-15	10	110-130	40-60 P	200-300
Oseille	650	1000	4	5-6	8-10		15 P	200/coupe
Pak Choï	700	300	5	3-4			30 P	
Persil	500	600	3	15	6-12	65-85	40-60	200-250
Pe Tsaï	700	300	5	3-4				400-600
Pissenlit	270	1200/1500	2		8-10		2 P	200-250
Poireau	550	400	3	5-15	12	120-150	60 P	100-300
Pois	700-800	2-6		5-8	35-50	105-120	2000	100 l (cosses)
						135 (sec)		20/30 kg sec
Pois chiche	780	3		7-15	30-40		2000	
Poivrons	450	150	4	8-10	12	125/150	3-10 P	50-200
Pourpier	610	2500	7	4-5		500-600		150-250
Radis roses	700	120	5	2	12	18-25	250-500	150-300
Radis gris				6	12	50-105	150	200-700
Salsifis	250	100	2	8	12	170-200	100-120	100-200
Scorsonère	260	90	2	15	12	170-200	100-150	150-200
Soja	725	78	2	6-7	90-95		750-1000	20-30
Tétragone	225	10-12	5	8-15		160-180	30-50	200
Tomate	300	300-400	4	4-6	6-12	110-160	3-5 P	60-300

(1) En conditions de conservation normale.Sous climat chaud et humide, les graines stockées perdent rapidement (en quelques mois) leur faculté germinative.
(2) Quantités approximatives , variables suivant les densités et le système de culture adoptés, nécessaires pour semer 1 are ou pour produire en pépinière (P) les plants nécessaires à la plantation d'un are.

La confection de mottes pressées réunit les avantages des godets et un prix de revient très raisonnable, mais elles sont difficiles à maintenir humides dans les régions à climat très sec.

- Prévoir les lieux de manutention des récoltes et de stockage des pesticides, des engrais et du matériel.
- Préparer les planches en vue du semis ou de la plantation (émottage, ratissage).
- Prévoir le traitement :
  — des semences (il est préférable de commander des semences traitées au préalable) ;
  — du sol des pépinières (feu, pesticides, fumigants) ;
  — des cultures en place.
- Veiller aux façons d'entretien (éclaircissage, binage, arrosage, fumure d'entretien).

Les cultures légumières exigent une grande quantité de travail à l'unité de surface. En moyenne 1 000 jt/ha. Il s'agit de cultures très intensives pour lesquelles il faut disposer de personnel nombreux et exercé. Dans la pratique, ne pas dépasser 15 ares par actif.

2. CRITÈRES GÉNÉRAUX DE LA QUALITÉ DES SEMENCES

Les notions ci-dessous sont valables pour les graines des diverses cultures (pas seulement maraîchères d'ailleurs). Bien entendu, certaines espèces font l'objet d'une multiplication végétative (fraisiers, asperge, pomme de terre, patate douce...).

— Faculté germinative : Pourcentage de graines susceptibles de produire au bout d'un temps déterminé des plantules saines et viables; 75% est un taux généralement acceptable.
— Energie germinative : Rapidité de germination exprimée par la proportion de graines germées au bout d'un temps déterminé.
— Coefficient de pureté :Pourcentage, en poids, des graines correspondant à la semence annoncée.
— Pureté variétale : Pourcentage de graines qui reproduisent fidèlement les caractères variétaux.
— Pureté spécifique : Pourcentage de graines correspondant à l'espèce (à l'exclusion des impuretés).
— Valeur culturale : Produit de l'énergie germinative par le coefficient de pureté ou par la pureté spécifique.
— Etat sanitaire des graines : Présence ou non de parasites animaux ou végétaux.
— Longévité : Durée pendant laquelle les semences conservent une faculté germinative acceptable.
— Les semences importées de variétés sélectionnées exigent pour se conserver correctement, d'être emballées hermétiquement; la solution idéale est l'emballage australien (sachets métalliques + gaz inerte) ou la boîte métallique sertie) (cf. essais IRAT/S.P.G.).

N.B. — Une fois l'emballage ouvert les graines doivent être utilisées le plus rapidement possible (délais de 3 mois; au-delà perte du pouvoir germinatif).
— Les emballages en papier ou en carton sont à proscrire.

3. CHOIX DES ESPÈCES ET DES VARIÉTÉS

Le choix de l'époque de culture est particulièrement déterminant. Si l'on met à part certaines espèces présentant régulièrement une production moyenne sur l'ensemble de l'année, saison des pluies comprise (poirée, aubergine, scarole, radis rouge, cresson alénois) on constate que les rendements sont fortement influencés par l 'époque du semis pour la plupart des légumes importés.

D'une manière générale les récoltes de saison des pluies sont déficitaires en zone tropicale :

— Le haricot vert nain présente des productions plus faibles en hivernage à cause des attaques parasitaires (*Rhyzoctonia solani* en particulier).
— La laitue donne de mauvais résultats : fonte de semis, montaison précoce, dégâts occasionnés par l'action mécanique des pluies. Une des variétés les plus résistantes est Minetto.
— La tomate souffre encore plus du flétrissement bactérien et des cryptogames du sol. La coulure des fleurs est très importante et les rendements très faibles.
— Les carottes et les oignons ont beaucoup de mal à lever sous les fortes pluies. La première espèce donne de faibles rendements. Les oignons ne tubérisent pas ou mal pour la plupart des variétés.
— Les tubercules de pomme de terre, quand les plantes arrivent à tubériser, ce qui est rare, sauf zones favorables, pourrissent et sont infestées par les iules.

Le choix des variétés varie avec les climats. Nous donnons ici quelques indications proposées par les services spécialisés de l'IRAT pour la zone soudanaise :

— Aubergines :
- Madinina obtention I.R.A.T. ;
- Calenda obtention I.R.A.T.-I.N.R.A. ;

Deux variétés sont recommandées seulement : Madinina et Kalenda, en zones infestées par le Pseudomonas.

— Carottes :
- demi-longue de Chantenay;
- demi-longue de Colmar ;

Touchon en altitude.
Idéal, Kuroda, New Kuroda, Juronan, Brasilia.
En zone contaminée par le Pseudomonas :
saison fraîche : Caraïbo, Calypso, Vanguard, King Kong, MST 32/1, MST 21/23, CL 5915 206 D4.
saison chaude : Caraïbe.

— Choux :
Les variétés recommandées :

Quintal d'Alsace (tardif) - Choux de Brunswick (demi-tardif) - Acre d'or (précoce) peuvent être utilement remplacées en climat humide par des hybrides japonais tels que : K.K. Cross - K.Y. Cross, ou Formosan chan - kan 60.

Mascotte, Fabula, Titan, Summer best, Autumn hero, Green Cross sont à expérimenter.

En zone infestée par le *Xanthomonas campestris* les variétés : K.K. Cross - YR Summer 50 sont à préférer.

— Haricots verts : Nains pour la saison sèche :
— Contender : tolérant au Rhizoctone
sensible à l'Anthracnose
— Fins de Monclar : tendance à la formation de fils,
A rames pour la saison des pluies :
Toutes les variétés locales telles que :
— Sossogbe (variété locale rustique au Burkina Faso)
Royalnel, en variété à filet pour la France et Bobby en mangetout pour l'Europe du Nord.

— Oignons :
— Variétés rouges ou violettes locales, bonne conservation, mais très sensibles à la photopériode (ex. : sélections IRAT/Niger) :
- violet de Galmi;
- violet de Soumarana.
— Jaune hâtif de Valence : précoce et productif, peu sensible à la photopériode mais se conservant mal.
— Red creole, Granex yellow.
Galil, Nissan (hybrides israéliens), Superex (hybrides japonais).

— Poirée : Blonde à carde blanche

— Pomme de terre : Bintje, Claudia, Arran Banner, Ackersegen.
A préférer : Resy, Euréka, Spunta, Claustar, Korrigane (peu sensible au mildiou).

— Salade :
En toute saison : Scarole, Batavia améliorée, Minetto.
En saison sèche : Laitue Batavia, Choux de Naples, Bon jardinier (en savane) ; Greatlakes et Impérial 847.
En saison des pluies : Romaine (variété Chicon des Charentes), salade Bowl.
En altitude et en saison fraîche : Okayama, Mignonette, Sucrine, et en hydroponie : Ostinata, Noran.

— Tomate :
— En zone non infestée par le Pseudomonas :
En saison sèche :
Variétés à gros fruits : Heinz 1370, Homestead 24, Tropic, Tropigros, Pelican, Castle hy 101, Floradel.
Variétés à petits fruits : Roma VF, Moneymarker, Rossol, Euréka.
En saison des pluies : Caraïbo, Roma.
— En zone infestée par le Pseudomonas : Carette (INRA), L_3 IRAT, Farako bâ.

Notons pour terminer qu'il existe des plantes alimentaires potagères locales qui ne manquent pas d'intérêt et méritent d'être exploitées :
— Epinards divers et en premier lieu la tétragone et l'amarante.
— Piments divers
— Féculents : igname, patate douce, manioc doux.

4. QUELQUES RENSEIGNEMENTS SUR LES PRINCIPALES CULTURES LEGUMIÈRES

En raison des grandes différences constatées suivant les variétés, les climats et les systèmes de culture, les chiffres du tableau précédent doivent être considérés comme simplement indicatifs et valables en région tropicale seulement.

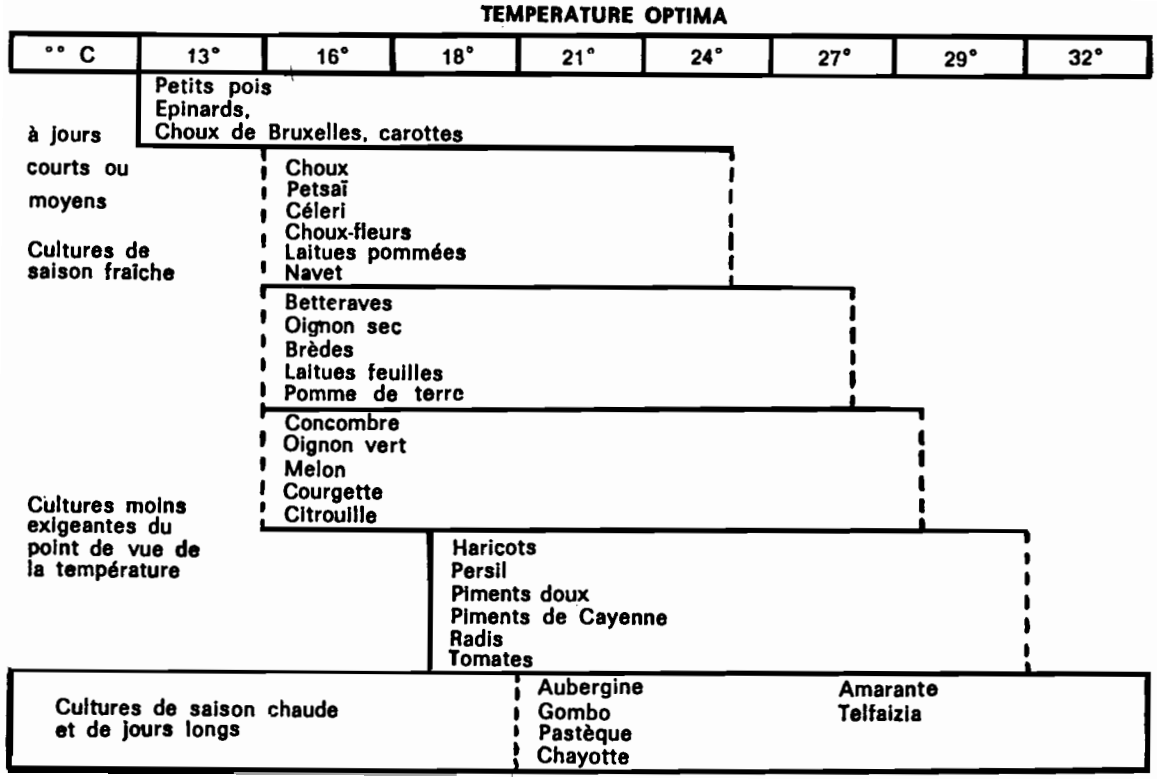
5. PÉPINIÈRES POTAGÈRES

Espèce	Quantité à semer (g/m^2)	Nombre de plants bons à planter par m^2	Opérations	Nombre de jours du semis à la plantation
Aubergines	0,8	100-120	Semis en ligne. Levée : 10-15 j. Eclaircissage : 1 pied tous les 3-5 cm.	35-40
Choux	3,0	400	Semis en ligne. Levée : 5-6 j. Eclaircissage : 1 pied tous les 5 cm.	25-30
Laitues	0,4-0,6	400	Semis à la volée. Levée 2-3 j. Deux éclaircissages.	25-30
Oignons	1,25-2,0	250	Semis à la volée. Levée 15-20 j. Protéger de l'excès d'humidité.	40-45
Poireaux	2,0	250	Semis à la volée. Levée 15-20 j. Protéger de l'excès d'humidité.	40-45
Poivrons	2,0	150-200	Semis en ligne. Levée : 15-20 j. Eclaircissage : 1 pied tous les 3 cm.	35-40
Tomates	4,0	600	Semis en ligne. Levée : 4-5 j. Repiquage en pépinière à deux vraies feuilles : 80 plants/m^2	8-10 jusqu'à repiquage 15-20 jusqu'à plantation

(D'après Cahiers d'Agriculture Pratique des Pays Chauds n°2-1965.)

6. TEMPÉRATURES OPTIMA POUR LA CULTURE DE DIVERS LÉGUMES

Voir les gammes moyennes de températures possibles, d'après «Vegetable Gardening in the Tropics» (Federal Experimental Station in Puerto Rico, USDA, 1950).


TEMPERATURE OPTIMA
°° C
13°
16°
18°
21°
24°
27°
29°
32°
Petits pois
Epinards,
Choux de Bruxelles, carottes
à jours
courts ou
moyens
Cultures de
saison fraîche
Choux
Petsaï
Céleri
Choux-fleurs
Laitues pommées
Navet
Betteraves
Oignon sec
Brèdes
Laitues feuilles
Pomme de terre
Concombre
Oignon vert
Melon
Courgette
Citrouille
Cultures moins
exigeantes du
point de vue de
la température
Haricots
Persil
Piments doux
Piments de Cayenne
Radis
Tomates
Cultures de saison chaude
et de jours longs
Aubergine
Gombo
Pastèque
Chayotte
Amarante
Telfairia

AMARANTE HYBRIDE

Amarantacée — **Amaranth**
Amaranthus - Hybridus — —
Variété : Klaoren

Mode de semis :
Pépinière à la volée à raison de 2 grammes par m² avec des graines âgées de plus de 15 jours et bien séchées après récolte. Ne pas enterrer, plomber et ne pas ombrer.
Surface de pépinière nécessaire pour planter 1 hectare : 1 000 m²
Quantité de semence pour planter 1 hectare : 2 kg
Nombre de plants pour planter 1 hectare : 700 000
Temps passé en pépinière depuis le semis : 2 à 3 semaines.
Ne jamais repiquer des plants âgés de plus de 4 semaines qui fleurissent trop rapidement.
Fumure minérale à la plantation : N = 50 P = 60 K = 70
Fumure en cours de croissance : N = 45
Fumure organique nécessairement abondante : 100 t de gadoue fraîche ou 20 t de fumure pour 3-4 récoltes successives sur le même terrain.
Densité de plantation : En planches de 1 mètre de largeur plantées à 0,10 m x 0,10 m.
Entretien : Au repiquage, ombrer légèrement les 2 premiers jours en cas de forte insolation. Un ou deux binages.
Irrigation : A l'arrosoir 2 fois par jour.
Traitements : Insecticide contre borers et chenilles phyllophages. Un traitement par semaine dès le repiquage. Ne pas épandre de cendres qui déclenchent la fusariose.
Récolte : Par arrachage après 3 semaines.
Occupation du terrain : 3 à 4 semaines.
Rendement : 20 tonnes/hectare.
Remarque : A la récolte, les plants sont arrachés avec leurs racines. Il faut laver celles-ci pour les débarrasser de la terre. Mettre les plants dans l'eau pour en conserver la fraîcheur jusqu'à la commercialisation qui doit être effectuée dans les 48 heures.

AUBERGINE

Solanacée — **Egg Plant**
Solanum melongena — —

Variétés : Money Maker n° 2 Violette longue d'Orient hybride F 1 (Rivoire)	Résistances aux maladies bactériennes
Madinina Hybride F1 Kalenda	Tolérantes à **Pseudomonas solanacearum**

Mode de semis : Pépinière en mottes pressées, ou à racines nues.
Surface de pépinière pour 1 ha : 80-100 m^2.
Quantité de graines pour 1 ha : 100 à 200 grammes.
Nombre de plants par hectare : 8000 à 15 000.
Temps passé en pépinière depuis le semis : 30-35 jours.
Fumure minérale à la plantation :
N = 150 P_2O_5 = 140 K_2O = 150
Fumure minérale en cours de culture :
En épandages fractionnés tous les 15 jours. N = 50 K_2O = 50
Densités de plantation en zone tropicale humide : 2 m entre les lignes, 0,60 m sur les lignes
Entretien : Binages et sarclages.
Irrigation : Selon les sols : à la rigole, par aspersion ou au «goutte-à-goutte».
Traitements : Ils peuvent être nombreux en zone tropicale contre les insectes : Endosulfan, Carbaryl, Pirimicarb, Diazinon. Contre les maladies cryptogamiques : Bénomyl, Manébe, Propinelle, Captafol.
Récolte : 1 mois 1/2 à 2 mois après la plantation et pendant 3 à 5 mois.
Occupation du terrain : 5-8 mois.
Rendements : 25 à 60 tonnes/hectare.
Conservation : à 8-10°C pendant une dizaine de jours.

BASELLE

Basellacée **Sweet Basil**
Basella alba

Mode de semis : En place en poquets de 3 graines.
Quantité de graines nécessaires à l'hectare : 75 000 graines.
Nombre de poquets nécessaires à l'hectare : 25 000
Fumure minérale à la plantation : N = 45 P = 60 K = 70
Fumure minérale en cours de végétation : N = 135
Densité de plantation : Rangs espacés de 1 m et à 0,40 m sur la ligne.
Entretien : Tuteurage solide en jumelant les lignes 2 par 2. Binage, sarclage.
Irrigations : Par submersions très abondantes et fréquentes, la baselle vient bien dans les terres humides en bordure de bas-fonds.
Traitements : Aucun. N'est pas attaqué par les insectes.
Récolte : A partir du 2e mois et durant 4 à 5 mois.
Occupation du terrain : 6 mois.
Rendement : 50 tonnes/hectare.
Durée de conservation en chambre froide à 0° C et 90% d'humidité relative : 1 à 2 semaines.

CHAYOTTE ou CHOUCHOUTE

Cucurbitacée — **Chayote**
Sechium edule — **Chayote**

C'est une plante grimpante, dont le fruit piriforme ou oblong ressemble à la courge , (mais il ne renferme qu'une seule graine de grande taille).

Originaire du Mexique, la chayotte , introduite à la Réunion en 1850, est maintenant un légume très apprécié dans les potagers des régions tropicales; on consomme les feuilles et les fruits.

Plante vivace.

On plante un fruit complet qui contient une seule graine, à 1 m x 1 m en l'enterrant à moitié.

Tuteurer avec des tuteurs très résistants ou vivants.

Nécessite beaucoup d'humus pour donner de bons résultats.

Se récolte à partir de 3 mois et durant de nombreuses années.

Rendement : jusqu'à 1 000 kg /are et par an.

Un certain nombre de parasites encore mal connus peuvent rendre aléatoire une culture de chayotte.

Aux Antilles ont été déterminés : l'oidium, un mildiou, le mycosphaerella.

La plante est sensible aux nématodes.

Les chauves-souris et les rats peuvent causer de graves dégâts, ainsi que des chenilles sur les feuilles et les tiges.

CHOU VERT

Crucifère — **Cabbage**
Brassica oleracea — **Col**

Variétés : Chan Kan 60 jours (en régions humides) K-K Cross - K-Y Cross, Chan Kan 60, Mascotte, Fabula, Titan, Summer best, Autumn hero, Green cross.

Semis : Pépinière en motte pressée.

Surface de pépinière nécessaire pour 1 hectare : 180 m^2.

Quantité de semence nécessaire pour 1 hectare : 1,5 kg en motte , 3 kg en planche.

Nombre de plants : 42 000.

Temps passé en pépinière depuis le semis : 20-25 jours.

Fumure minérale avant plantation : N = 60 P = 75 K = 90

Fumure minérale en cours de culture : N = 90 K = 100

Densité de plantation : Lignes espacées de 0,60 m et 0,40 m sur la ligne.

Entretien : Binage, sarclage.

Irrigation : A la raie (2 à 3 par semaine).

Traitements : Fongicide insecticide (1 par semaine avec 100 g d'oxychlorure et 50 g de parathlon à 50% pour 10 l d'eau).

Récolte : A partir de 70 jours et durant 10 jours.
Occupation du terrain : 3 mois.
Rendement : 15 à 30 tonnes en région humide ; jusqu'à 40 tonnes en savane en saison sèche.
Remarque : Les K.K Cross, K.Y Cross, Chan Kan sont parmi les mieux adaptées à la saison chaude. En cas d'infestation par les bactéries *Xanthomonas campestris* (nervuration noire) préférer le K.K. Cross.
Durée de conservation en chambre froide à 0° et 92% d'humidité relative : 3 mois.

CHOU PALMISTE

On désigne sous le nom de chou palmiste, le bourgeon terminal de certains palmiers, débarrassé de ses enveloppes extérieures. Les jeunes feuilles qui le constituent, blanches et tendres, ont une saveur de noisette extrêmement délicate.

On le mange surtout en salade. Malheureusement, la récolte entraîne la mort de l'arbre (1) (ce qui fait que la salade de choux palmistes est encore appelée «salade du millionnaire»).

La plupart des palmiers (cocotier, palmier à huile, rônier, raphia, dattier, etc.) fournissent des choux palmistes. Cependant «le plus apprécié est celui de l'*oreodoxa oleracea*» (1) (palmier des Antilles).

GOMBO

Malvacée — **Okra**
Hibiscus esculentus — **Quimbombo**

L'Hibiscus est un produit intéressant dans les régions tropicales, car il est résistant à la chaleur.

«Le Gombo est une plante annuelle de 50 cm à 1,50 m de hauteur. Le fruit que l'on utilise comme légume est une capsule pyramidale de 10 à 15 cm de long sur 2 à 3 cm de diamètre, s'ouvrant en 5 valves, contenant de nombreuses graines sphériques» (2)

«Les fruits du Gombo sont récoltés très jeunes. Ils entrent dans la préparation des potages et des sauces. On les mange aussi en salade. Leur saveur est faible et ils sont très mucilagineux» (3).

Mode de semis : En place 4-5 graines par paquet.
Quantité de graines nécessaires à l'hectare : 3 kg.
Nombre de poquets nécessaires par hectare : 16 500.

(1) G. Capus, page 86, op. cit.
(2) G. Capus, page 84, op. cit.
(3) G. Capus, page 85, op. cit.

Fumure minérale à la plantation : N = 45 - P = 60 - K = 70
Fumure minérale 20 jours après semis : N = 25
Fumure minérale 40 jours après semis : N = 45
Densité à la plantation : Lignes espacées de 1,50 m et à 0,40 m sur la ligne.
Entretien : Eclaircir les poquets en laissant un plant. Biner, pailler.
Irrigation : 2 fois par semaine à la rigole en saison sèche.
Traitements : Contre la cercosporiose, un par semaine avec du manèbe. Contre les insectes piqueurs vecteurs de viroses, utiliser parathion, puis mevinphos.
Récolte : Début 60 à 80 jours après le semis suivant la saison. Durée : 25 à 30 jours.
Occupation du terrain : De 3 mois à 3 mois 1/2.
Rendement : 5 tonnes/hectare.

LAITUE

Composée — **Lettuce**
Lactuca sativa — **Lechuga**

Variétés : type Batavia : Green Mignonette, Minetto, Bon jardinier, Reine de Mai, Romaine, Salade Bowl, Sucrine , et en hydroponie : Ostinata, Noran.
Mode de semis : Soit en pépinière avec repiquage à 4-5 feuilles ou en mottes pressées.
Surface en pépinière pour 1 hectare : 400 m^2
Quantité de semence pour 1 hectare : 200 g en motte , 1 kg en planche.
Nombre de plants pour 1 hectare : 96 000.
Temps passé en pépinière depuis le semis : 1 mois.
Fumure minérale avant la plantation : N = 65 P = 75 K = 90
Fumure minérale en cours de culture : N = 45 K = 100
Densité de plantation : sur billons de 0,45 m à 0,30 m x 0,30 m.
Entretien : Binage.
Irrigation : A la raie tous les 4-5 jours.
Traitements : Fongicides : en climat plus frais contre botrytis et bremia : 1 tous les 15 jours avec du Captafol à raison de 25 g/10 litres. En cas de septoriose et de cercosporiose au Benomyl, soit en pulvérisation sur le feuillage ou en mélange au sol. Insecticide : ajouter de la phosdrin aux traitements fongicides et, en cas de besoin, effectuer des traitements supplémentaires.
Récolte : A partir de 50 jours et durant 10 jours.
Occupation du terrain : 2 mois.
Rendement : 8 à 15 tonnes/hectare, jusqu'à 40 tonnes avec Minetto en saison sèche aux Antilles.
Remarque : Les laitues de serre pour jours courts sont aussi adaptées aux serres froides d'où une utilisation difficile en zone tropicale forestière.
Durée de conservation en chambre froide à 0° C et 94% d'humidité relative: 1 à 3 semaines.

NIÉBÉ

Légumineuse **Cow Pea, Southern Pea**
Vigna **Caupl**

Le niébé est cultivé pour ses graines mais aussi pour ses feuilles consommées comme épinard dans de nombreuses régions et données au bétail dans d'autres.

1. ORIGINE ET VARIÉTÉS

Le genre *vigna*, et plus particulièrement l'espèce *unguiculata*, est d'origine asiatique. Le Nigeria du Nord constitue un centre de diversification secondaire.

Les niébés sont des plantes herbacées annuelles, autogames (de 0,2 à 2% de fécondations croisées naturelles). Elles présentent une grande variété de formes et de physiologies, elles sont plus ou moins sensibles au photopériodisme et à la température.

On classe les niébés en trois groupes variétaux d'après leur physiologie :

— variétés peu sensibles à la photopériode, hâtives, allongeant leur cycle en saison sèche froide;
— variétés sensibles fleurissant en jours de 11h30, tardives, raccourcissant leur cycle en contre-saison ;
— variétés insensibles.

On distingue les variétés suivant le port, la coloration des feuilles et des graines ainsi que leur grosseur.

Les variétés disponibles actuellement proviennent principalement du Nigeria, des U.S.A et du Sénégal. Les variétés nigériennes sont généralement du type sensible au photopériodisme, les variétés américaines au contraire sont plutôt insensibles.

Les travaux de sélection visent généralement à obtenir des variétés insensibles au photopériodisme, à port érigé et à floraison groupée, à grosses graines et à gousses indéhiscentes.

Au Sénégal, sur le bord du fleuve (en culture de décrue) on trouve des variétés hâtives, insensibles. Dans le Sud du pays, on trouve des variétés tardives, grimpantes et sensibles à la photopériode. Toutes les variétés sont sensibles aux insectes.

Principales variétés cultivées au Sénégal : Mougne, Niambour, 58-57, B 21.

2. ÉCOLOGIE

Le niébé est surtout cultivé en zone sèche (soudano-sahélienne), à pluviométrie de 500 à 800 mm. Température moyenne, 25-28°C pendant le cycle végétatif. Les températures basses (cultures en contre-saison) allongent jusqu'à 140-150 jours le cycle des variétés insensibles à la photopériode. Chez les variétés sensibles au photopériodisme, les modifications de cycle dues à la durée d'éclairement ne permettent pas d'isoler l'action de la température.

Au Burkina-Faso, les besoins en eau d'une culture de niébé irriguée en saison sèche sont de 970 mm, pour une durée de végétation supérieure à 4 mois et un niveau de rendement de l'ordre de 30 à 40 q/ha. Toutefois la plante résiste très bien à la sécheresse. Certaines variétés ont des cycles végétatifs de 75 jours (45 jours du semis à 50% de la floraison). Les besoins en eau de telles variétés sont de l'ordre de 370 mm (à Bambey) pour une demande évaporative voisine de 490 mm. Même soumis à de très forts déficits hydriques, le niébé arrive à produire un peu de fane et de grain.

CARTES D'ADAPTATION VARIÉTALE

Sénégal

N° Variété	Nombre de jours semis-floraisons	Port	Poids de 1000 graines en g	Régions
58-57	44	rampant	105	Louga
58-75	46	érigé	106	Vallée du fleuve
58-185	56	érigé	138	Bambey
59-25	46	érigé	115	Bambey
58-57	44	rampant	105	Bambey
58-111	68	rampant	225	de Kaffrine à Tambacounda
58-9	73	rampant	119	id.

Niger :

Variétés	Nombre de jours semis-floraison	Pluviométrie en mm
TN 36 — 64 TN 88 — 63	70	300-400 (Zone Nord)
TN 4 — 69	90	400-500
TN 98 - 63	90 à 100	Supérieure à 500

3. CULTURE

3.1. Culture traditionnelle

Généralement cultivé en mélange avec des sorghos ou des pénicillaires, semé tard en fonction des perspectives de la récolte principale et soumis à de fortes attaques parasitaires, le niébé en culture traditionnelle est peu productif (100 à 200 kg/ha).

Les facteurs limitants du rendement sont par ordre d'importance :

— le parasitisme (surtout sur les fleurs),
— les techniques culturales défectueuses,
— les problèmes variétaux.

3.2. Culture intensive

Avec les nouvelles variétés sélectionnées à port érigé peu sensibles au photopériodisme à floraison groupée, on préconise la culture pure (densité de 40 000 à 50 000 poquets/ha à 3 graines soit 15 à 30 kg/ha suivant la grosseur des graines).

Cette culture pure implique nécessairement des traitements insecticides : ce qui pose le problème de l'approvisionnement en eau.

3.3. Culture en «dérobé»

Semis dans les interlignes du mil, un mois avant la récolte de ce dernier. On valorise pour un profit immédiat les dernières réserves hydriques du sol.

3.4. Fumure

Le niébé répond bien à la fumure organique et à la fumure minérale.

Une récolte correspondant à 100 kg de graines exporte : 5 kg de N, 1,7 kg de P_2O_5, 4,8 kg de K_2O, 0,4 kg de S, 1,6 kg de CaO, 1,5 kg de MgO.

4. MALADIES ET ENNEMIS

Le parasitisme est très important

Début de la végétation	*Amsacta meloneyl*	Nématodes Chenilles des pousses	Variétés résistantes
A la floraison	Très nombreux insectes : — punaises coréides — cicadelles jassides — thrips — chenilles de lépidoptères		3 traitements à l'endosulfan espacés de 8-10 jours 1 000 g/m.a/ha

Début de la végétation	*Amsacta meloneyl*	Nématodes Chenilles des pousses	Variétés résistantes
Fructification et fin de cycle	Piezotrachelus Varum — Jassides — Bemisia	Apions	
Stocks	*Callosobruchus chinensis*	Bruches	

5. RENDEMENTS

En culture pure, protégée contre les parasites et fertilisée : 1 000 à 1 500 kg ha, jusqu'à 2 000 kg.

6. CONSERVATION

Poudrage au DDT pour les semences.
Traitement sous bâche ou en silo étanche (voir désinfection des stocks). Sans précaution, le niébé est totalement détruit pendant le stockage par des parasites.

OIGNON

Liliacée **Onion**
Allium cepa **Cebolla**

1. ORIGINE ET CARACTÈRES

Originaire d'Asie, cultivé depuis le début de l'ère historique dans le Bassin méditerranéen, l'oignon s'est bien adapté dans la zone soudano-sahélienne (pour les variétés qui bulbent en condition de jour court). Il est pratiquement absent de la zone équatoriale, sauf en altitude, par suite des conditions naturelles défavorables à sa culture. Il se développe en zone tropicale sèche de basse altitude, (Barbade aux Antilles).

2. ÉCOLOGIE

Une longueur de jour minimale est requise pour la formation des bulbes : ce seuil, différent suivant les variétés, varie de 12-13 heures (zone inter-tropicale),

15-16 heures (zone tempérée). Les températures élevées supérieures à 18°C déclenchent le renflement des bulbes. Le renflement est plus ou moins précoce et plus ou moins développé selon les températures. Par contre, les températures fraîches favorisent la sortie de dormance des bulbes, la croissance végétative, l'émission de hampes florales.

3. VARIÉTÉS

Pour la zone tropicale, le choix des variétés est conditionné par les besoins du marché et les exigences physiologiques de la plante. La couleur et le parfum ont une grande importance sur les marchés de consommation. Pour la déshydratation, les oignons doivent avoir une chair blanche, un goût prononcé, un rendement en matière sèche élevé.

L'importation de semences doit être effectuée avec prudence; les variétés européennes de jour long bulbent difficilement ou pas du tout dans les conditions de jour court de la zone inter-tropicale. Les semences, importées de latitudes plus basses (Californie, Mexique), donnent de bons rendements. Cependant les populations locales d'oignons, et plus particulièrement les types hâtifs, se conservent mieux que les variétés introduites. Variétés : jaune de Valence, de Wilt, Texas Grano, Texas Erly Grano - Red Star - White Granex - Red Creole.

Ecotypes locaux intéressants : Violet de Galmi d'où, par sélection, a été tiré IRAT 1 : Blanc de Galmi (IRAT 2); Blanc de Soumarana (IRAT 3); Garango (IRAT 4).

4. CULTURE

L'oignon est cultivé en saison sèche avec irrigation, car la maturité doit intervenir avant l'installation des pluies (avril-mai selon latitude). Les semis sont effectués en pépinière en début de saison sèche. Selon la précocité des variétés ou lignées, les dates de semis optimales ne devront pas être trop tardives pour les oignons à cycle long (ex. violet de Soumarana), non plus que trop hâtives pour les variétés à cycle court (ex. violet de Galmi) qui entrent alors en bulbaison dans des conditions de longueur de jour défavorables (février-mars). D'autre part, les semis hâtifs de fin de saison des pluies à début de saison sèche ont une mauvaise germination s'ils ne sont pas abrités. Après 40 jours de pépinière, les plants sont mis en place lorsqu'ils ont la dimension d'un crayon, sur un sol bien drainé, riche en matière organique (les semis directs peuvent être effectués à condition d'être en sol lourd mais grumeleux et de bien maîtriser la destruction des adventices). Une fumure phosphopotassique est apportée à la préparation du terrain. L'oignon est une plante très exigeante en soufre. Il faut veiller essentiellement à une bonne structure des sols (contribution essentielle de la fumure organique) et veiller à ce que le sol ne soit pas soufflé (déformation des bulbes).

L'irrigation doit être régulière pendant toute la période de grossissement du bulbe, jusqu'à 8 jours avant la récolte.

Le plan d'irrigation suivant est préconisé pour l'oignon de Galmi : Pré-irrigation de 50 mm avant la mise en place.
1 irrigation de 30 mm par semaine pendant 10 semaines.
2 irrigations de 30 mm par semaine pendant 3 à 4 semaines
2 irrigations de 25 mm par semaine pendant 3 semaines.

Mode de semis :
Pépinière de 5 g de semences au m^2 en lignes distantes de 5 cm.
Enterrer les graines à 1 cm et plomber énergiquement.
Surface de pépinière pour 1 hectare : 100 m^2.
Quantité de semence pour 1 hectare : 5 kg
Nombre de plants pour 1 hectare : 450 000
Temps passé en pépinière depuis le semis : 1,5 à 2 mois
Fumure minérale à la plantation : N = 60 P= 75 K = 85
Fumure minérale en cours de culture : N = 45 K = 50.

Densité de plantation
Pour obtenir de bons rendements en bulbes de poids moyen, donc de bonne conservation et facilement commercialisables, les densités élevées de l'ordre de 450 000 plants/ha, sont conseillées. Pour faciliter l'irrigation, le schéma suivant peut être adopté : plantation en lignes jumelées, distantes de 0,15 m sur billons espacés de 0,40 m avec un écartement sur la ligne de 0,10 m.

Le cycle végétatif varie de 120 à 170 jours suivant les variétés. A la récolte, les fanes sont coupées et les bulbes protégés du soleil.

Les rendements varient de 30 à 70 t/ha. Ils sont fonction de la densité de bulbes sains et commercialisables récoltés à l'hectare et de poids moyen (fonction de la densité de plantation et des conditions de bulbaison : ex. 400 000 bulbes/ha x 100 g = 40 t/ha).

5. CONSERVATION

Il ne faut conserver que des bulbes d'aspect sain et dépourvus de traces de blessures ou de champignons parasites (*Aspergillus niger* et *Sclerotium cepivorum*).

Les oignons sont conservés en couche sur clayette ou en guirlande, dans un local aéré. Il faut en effectuer des passages réguliers pour éliminer les écarts de triage et éviter les contaminations par contact. Les conditions de conservation optimales sont : température (2 à 4°C), hygrométrie relative (70 à 80%).

La durée de conservation varie de 4 mois maximum, pour les variétés américaines, à 8 mois pour les écotypes locaux. Les oignons de couleur se conservent mieux que les oignons blancs. La conservation est d'autant moins bonne que les bulbes sont gros.

En conservation artisanale sous abri en banco, on peut atteindre 6 mois de conservation avec des pourcentages de pertes en nombre inférieur à 30%. Il faut se protéger des dégâts des rongeurs (rats).

6. ENNEMIS ET MALADIES

Ennemis et Maladies	Traitements
Thrips	Dieldrine - Malathion
Rouille	Variétés résistantes
Mildiou-Alternaria	Manèbe - Mancozèbe
Aspergillus	Aération - Conservation à basse température

PRODUCTION - Oignons secs - 1985

Continent	Surface x 1000 ha	Production x 1000 t	Rendement kg/ha
Amérique du Nord et Centrale	65	2 257	34 723
Amérique du Sud	111	1 635	14 730
Asie	950	11 524	12 130
U.R.S.S.	170	1 960	11 529
Europe	239	4 953	20 724
Afrique	151	1 974	13 073
Océanie	7	214	30 571
Total mondial	16 993	24 517	14 481

Rang	Pays	Surface x 1000 ha	Production x 1000 t	Rendement kg/ha
1	Chine F	231	3 240	14 026
2	Inde F	269	2 855	10 613
3	U.S.A.	49	2 023	41 286
4	U.R.S.S. *	170	1 966	11 529
5	Espagne	38	1 263	33 237

COMMERCE 1985 (en milliers de tonnes)

Rang	Pays	Importation	PAYS	Exportation
1	R.F.A.	368	Pays-Bas	445
2	Royaume-Uni	232	Espagne *	295
3	France	153	Inde F	180
4	U.S.A.	120	Turquie F	120
5	Arabie Saoudite	96	Mexique	93

* Données non officielles

F : Estimations FAO

PIMENT

Solanacée — **Red pepper, sweet pepper, bell pepper**
Capsicum frutescens — **Pimienta**
Variétés : Gros de Daloa
St Pierre
Locales

Mode de semis : Pépinière en mottes pressées
Surface de pépinière nécessaire pour 1 hectare : 175 m^2
Quantité de semence nécessaire pour 1 hectare : 300 g en motte, 1 kg en planche.
Nombre de plants nécessaires pour 1 hectare : 45 000.
Temps passé en pépinière depuis le semis : 45 jours.
Fumure minérale à la plantation : N = 160 P = 140 K = 110.
Fumure minérale en cours de culture : N = 90 K = 50.
Densité de plantation : Lignes espacées de 0,60 m et à 0,40 m sur la ligne
Entretien : Binage, buttage
Irrigation : A la raie, une tous les 5 à 6 jours suffit.
Traitements : Insecticides contre les criquets et la mouche des fruits.
Récolte : A partir de 2 mois et pendant 3 à 6 mois.
Occupation du terrain : 5 à 8 mois.
Rendement : 4 à 10 tonnes/hectare en raies. Très variable suivant les variétés utilisées.
Durée de conservation en chambre froide à 0° et 95 à 98% d'humidité relative: 30 jours.
Séchage des variétés très piquantes.

POIS DU CAP

Papilionnacée — **Lima Bean**
Phaseolus lunatus — **Judeas**

1. ORIGINE ET CARACTÈRES

Américaine (Guatémala)
Plante sarmenteuse semi-érigée à tige cannelée, donnant des gousses recourbées de 9 cm de long en moyenne, sur 1,5 à 2,5 cm de large, contenant 2 à 6 graines plates et larges de 2 cm de long, à ombilic enfoncé et de couleur blanche, rouge, violette, noire ou panachée. On distingue des types variétaux à grosses gousses et graines (Madagascar) et des types à fruits plus petits (Etats-Unis).

2. ÉCOLOGIE

— Climat chaud, mais température <35° C.
— Hygrométrie ⩾ 70 %
— Sol argileux à argilo-sableux, toujours **humide en profondeur**.
— Notons qu'en zone aride avec irrigation on peut cultiver le pois du Cap avec des hygrométries inférieures à 70%.

3. CULTURE

Généralement, culture de décrue ou irriguée (Madagascar). En jardin de case ou même en culture pluviale en Afrique tropicale.
— Semis en poquets de 3 à 5 graines, à distances comprises entre 1,50 et 3 m en tous sens, dans une excavation de 20 cm de diamètre sur 25 à 40 cm de profondeur (racine toujours au contact de la nappe phréatique).
— Cycle végétatif : 5 à 7 mois.
Rendement moyen : 500 kg à 1 t et plus par hectare.
Facilement parasité en magasin.

4. UTILISATION

En général, les variétés à graines blanches sont préférées pour l'alimentation. Certaines variétés contiennent une proportion d'acide cyanhydrique les rendant impropres à la consommation.

Les pois du Cap sont utilisés soit directement (haricots verts, blancs ou secs), soit (à l'exportation) pour la biscuiterie et la consommation en sec.

POIREAU

Lillacée **Leek**
Allium porrum —

Variétés en saison sèche: gros long d'été
en saison de pluies : Giant Musselburgh.

Mode de semis : Pépinière en planche à raison de 6 g de semence par m^2 et en lignes espacées de 5 cm. Enterrer les graines à 1 cm et plomber énergiquement. Pour obtenir une bonne germination, il peut être nécessaire de vernaliser les semences en les mettant après trempage dans le compartiment «légumes» d'un réfrigérateur de ménage jusqu'au début de la germination.

Surface de pépinière nécessaires pour planter 1 hectare : 500 m^2.
Quantité de semence nécessaires pour planter 1 hectare : 3 kg
Nombre de plants nécessaire pour planter 1 hectare : 250 000
Temps passé en pépinière depuis le semis : 2 mois
Fumure minérale à la plantation : N = 140 P = 90 K = 100

Fumure minérale en cours de culture :
1 mois après plantation : N = 70 K = 50
2 mois après plantation : N = 70 K = 50
Densité de plantation : Lignes espacées de 40 cm et à 10 cm sur la ligne.
Entretien : Repiquer au fond d'une petite tranchée de 10 cm de profondeur et butter fortement et progressivement au cours de la croissance pour avoir le maximum de blanc.
Irrigation : A la rigole. Le poireau a besoin de beaucoup d'eau. Une irrigation tous les 2-6 jours suivant la pluviométrie.
Traitements :
Contre les insectes : avant plantation 40 kg/ha de chlorfenvinphos type Birlane granulé épandu à la volée et trempage des plants à repiquer dans une solution d'esthers phosphoriques à raison de 20 cm^3/10 litres d'eau. En cas d'attaques de teigne ou de mouche en cours de culture, traiter avec de la phosdrin.
Contre les maladies cryptogamiques : tous les 15 jours un traitement avec un mélange de manèbe, zinèbe. En cas de forte attaque d'alternaria, augmenter la dose de produit d'un tiers et traiter tous les 8 jours.
Récolte : A partir de 4 mois. Peut se conserver un certain temps en terre.
Occupation du terrain : 4 à 6 mois.

POIVRON

Solanacée **Sweet Pepper**
Capsicum annuum
Variétés : Doux d'Amérique Yolo Wonder
Doux d'Espagne California Wonder
Early Cal wonder Narval

Cette dernière variété est la seule commercialisée résistante au *Pseudomonas solanacearum.*
Le poivron est une des plantes maraîchères (avec l 'aubergine) les plus exigeantes en température (25-30° C), mais moins exigeante que la tomate du point de vue ensoleillement.
Le poivron doux est récolté soit en vert (cultures précoces) ou à maturité (rouge le plus généralement), en saison lorsque l'on recherche les cours de marché les plus élevés (dans les conditions françaises notamment).
Sa culture se développe de plus en plus en savane durant la saison sèche pour exporter en contre-saison en Europe.
En région tropicale humide ses rendements sont aléatoires si les traitements ne sont pas suivis. (Aux Antilles mêmes traitements que ceux pratiqués sur l'aubergine.)
Culture : Voir piment.

POUSSE DE BAMBOU

L'espèce la plus exploitée est le *Phyllostachys pubescens*, dont on exploite les pousses qui n'ont pas encore percé au-dessus du sol et qui demeurent tendres à l'état de bourgeon (1).

Cette culture se fait essentiellement en Indochine.

Pour l'exportation, les pousses sont mises en conserve après cuisson (2).

TOMATE

Solanacée **Tomato**
Lycopersicum esculentum **Tomate**

1. ORIGINE ET VARIÉTÉS

Plante originaire d'Amérique du Sud, la tomate se multiplie normalement par graines. L'aire d'acclimatation de la tomate s'étend sur l'ensemble de la zone inter-tropicale. Sa culture peut être rendue difficile par le parasitisme intense de saison humide en zone équatoriale ou les fortes chaleurs des régions sahéliennes.

Les variétés sont classées suivant le type de croissance (déterminée ou indéterminée), l'absence ou non de collet vert, la forme (lisse ou côtelée), le nombre de loges.

Pour la conserve sont habituellement cultivées les variétés à croissance déterminée, à récolte groupée du type Roma : Roma VF - Red Top, VR 9 - Ronita (celle-ci est actuellement remplacée par Rossol, résistante aux verticillum, Fusarium, Nématodes). Vénus, Saturne, Caraïbo, Vanguard, King Kong, Calypso, MST 32/1, MST 21/23., données comme résistantes à Pseudomonas. Pour l'industrie, les variétés doivent avoir une teneur en extrait sec de 4 à 7%.

Pour la tomate de table en saison sèche sont utilisées : Heinz 1370, Homestead 24, Tropic, Tropigros, Pelican, Castle hy 101, Floradel, Capitan en variétés à gros fruits, Roma VF, Moneymaker, Rossol en variétés à petits fruits.

2. ÉCOLOGIE

Les températures optimales sont de 13 à 20° C la nuit, 20 à 27°C le jour. Au moment de la floraison, un écart de 6 à 7°C entre le jour et la nuit est nécessaire.

Les meilleurs résultats sont obtenus en saison sèche, à condition d'irriguer. De la plantation à la floraison, les besoins en eau sont de 5 mm/j., ensuite plus importants, 10 mm jusqu'à la récolte.

(1) G. Capus, p. 85, op. cit.
(2) G. Capus, p. 85, op. cit.

3. CULTURE

Les semis sont faits en pépinière désinfectée à partir de semences sélectionnées. La plantation en motte donne d'excellents résultats en zone tropicale humide.

Labour profond un mois et demi avant plantation avec apport d'une fumure organique (30 à 35 t/ha de fumier) et d'une fumure phosphatée.

Labour superficiel ensuite pour émottage avec apport d'une fumure minérale (750 kg/ha d'un engrais 12-6-60).

Mise en place sur billons des plants âgés de 20 à 30 jours.

Les densités de plantation varient de 20 000 à 35 000 par hectare, avec des écartements entre billons variant de 0,80 m à 1,20 m en culture palissée, 1 m à 1,50 m en forme libre.

Pour les tomates de table le palissage est indispensable (fruits de meilleure présentation) d'autant plus que l'on utilise des tomates à croissance indéterminée (taille à une ou deux branches arrêtées à 5-8 bouquets selon vigueur et planning de culture, soit palissage en «cabane» avec ébourgeonnage sommaire).

Pour la conserve, la tomate peut être conduite sans tuteurage pendant la saison sèche avec des variétés à croissance déterminée.

Mode de semis : Pépinière en mottes pressées ou en planche.
Surface de pépinière nécessaire pour 1 hectare : 100 m^2
Quantité de semence nécessaire pour planter 1 hectare : 200 g en motte
Quantité de semence nécessaire pour planter 1 hectare : 500 g en planche
Nombre de plants nécessaires pour planter 1 hectare : 20 000 à 35 000
Temps passé en pépinière depuis le semis : 20 -30 jours
Fumure minérale avant plantation : N = 95 P = 120 K = 160
Fumure minérale en cours de culture : N = 90 K = 50
Densité de plantation :
Rangs espacés de 1 m et à 0,40 m sur le rang
Rangs espacés de 1,5 m et à 0,80 m sur le rang selon le mode de culture et la variété.

Entretien : Binage, sarclage; pailler le sol, cela empêche la température de trop monter dans le sol et favorise la végétation. En grande saison des pluies, la culture sous abri permet d'obtenir des rendements très supérieurs.

Irrigation : A la rigole, obligatoirement. Une ou deux fois par semaine.

Ennemis et Maladies	Traitements
Larves mineuses et chenilles	Mévinphos tous les 6 à 8 jours
Acariens	Dicofol puis chinométhionate avant la récolte
Nématodes	Variétés résistantes
Fonte de semis	Thirame
Fusarium	Variétés résistantes

Mildiou, Cladosporiose, Alternariose	Manèbe - Produits Cupriques
Nécrose apicale (Blossom end Rot)	Eviter les à-coups d'irrigation
Bactériose due à Pseudomonas solanacearum	Recherche de variétés résistantes

Pour éviter la multiplication des maladies, la tomate ne doit pas succéder à une autre solanacée et reviendra le moins souvent possible à la même place.

Traitements :

En zone humide, le programme de lutte suivant peut être utilisé contre les maladies :

— fongicide, minimum une fois par semaine et après chaque pluie supérieure à 20 mm. Une fois sur deux, ajouter un insecticide qui est à supprimer à partir du début de la récolte. Alterner une fois sur deux manèbe, zinèbe et oxychlorure, thirame.

Récolte : A partir de 3 mois, puis durant 1 mois avec Heinz 1370, durant au moins deux mois avec les variétés à port non déterminé.

Occupation du terrain : 4 à 5 mois.

Rendement : 5 à 30 tonnes suivant les variétés et les saisons. Des rendements dépassant 80 t/ha peuvent être obtenus dans des cas particuliers.

Conservation en chambre froide des tomates mûres à + 1°C et 85-90% d'humidité relative: 30-35 jours.

VOANDZOU

Papilionacée **Ground nut (pea)**

Voandzeia subterranea

C'est une plante annuelle qui présente comme l'arachide la curieuse particularité d'enterrer ses fruits dans le sol où ils se développent et mûrissent (1).

Le voandzou est très répandu dans toute l'Afrique tropicale (on l'appelle aussi « pois bambara ») et à Madagascar.

Les feuilles sont trifoliées et la petite gousse contient en général une graine. Les graines sont rondes ou légèrement ovales (2). Elles sont consommées bouillies ou bien frites dans du beurre ou de l'huile. Elles sont beaucoup moins oléagineuses que l'arachide... et plus riches en protéines (3).

Mode de culture semblable à celui de l'arachide.

$$\text{Rendement} \quad \frac{\text{graines}}{\text{fruits en coque}} = \begin{array}{l}\text{60 à 80\% en Afrique} \\ \text{80 à 85\% à Madagascar}\end{array}$$

(1) Capus, page 83.
(2) V. den Abeele et Vandenput, p. 864.
(3) Capus, page 83.

SOUS-CHAPITRE VII — PLANTES MÉDICINALES

Il existe de très nombreuses plantes médicinales qui font l'objet soit d'une cueillette, soit d'une culture industrielle. On renvoie le lecteur aux ouvrages spécialisés.

SOUS-CHAPITRE VIII — PLANTES OLÉIFÈRES

Aleurites	Palmier à huile
Arachide	Ricin
Carthame	Sésame
Cocotier	Soja
Karité	Tournesol

ALEURITES

Euphorbiacée — **Tung**
Aleurites — **Aleurita**

1. BUTS DE LA CULTURE

Les graines d'aleurite permettent de produire une huile siccative de qualité supérieure qui convient pour la préparation de peintures et vernis, d'émaux, d'enduits, de siccatifs.

Cette huile est connue sous l'appellation commerciale d'huile « de bois de Chine ».

2. et 3. BOTANIQUE et ÉCOLOGIE

On groupe sous le nom d'aleurites cinq espèces voisines d'euphorbiacées :

— l'*Aleurites trusperma* très répandu dans l'archipel des Philippines.
— l'*Aleurites cordata*, qu'on trouve surtout au Japon.
— l'*Aleurites moluccana* (ou Bancoulier) est abondant dans toutes les régions tropicales.
— l'*Aleurites fordii* ou tung, originaire de la Chine centrale où il se rencontre communément.
— l'*Aleurites montana* ou abrasin qui existe à l'état spontané en Chine méridionale et au Vietnam.

L'huile de bois de Chine du commerce est le nom générique des huiles siccatives extraites des fruits des deux dernières espèces, la première (tung) fournissant d'ailleurs 90 % de la production totale.

Ces deux espèces présentent des différences sensibles tant pour leur morphologie que leur écologie :

	A. fordii	*A. montana*
Taille	7 à 12 m	12 à 15 m
Feuilles	polymorphes	ovales
Fleurs	sur bois de un an	sur bois de l'année
Fruits : diamètre poids	3 cm 12 à 50 g	4 cm 10 à 30 g
Nombre de graines par fruit	3 à 7	3 à 5
% du poids du fruit	40 à 60 %	30 à 50 %
% d'huile	56,4	57,5
Lieu d'origine	Chine Centrale	Chine du Sud
Climat	Tempéré à été chaud	Tropical d'altitude
Pluviométrie minimale optimale	750 mm 1 000 mm à 1 500	 1 500 mm à 2 000 mm
Température létale optima moyenne	-8 à - 15° C 16 à 25° C	4° C 20 à 28° C
Altitude	Sup. à 1 000 m	de 1 000 à 1 600 m

Le tung a besoin de quelques journées froides (jusqu'à - 5° C) et d'un temps sec (40-50 mm par mois) pour former son ébauche florale. Les aleurites viennent bien dans les sols bien drainés, légèrement acides : pH = 6 à 6,5. Ils sont sensibles aux vents.

4. CULTURE

La faculté germinative des graines d'aleurite décroît rapidement. Il faut 1 kg de semences pour 200 graines, issues de fruits bien mûrs, non ouverts.

4.1. Semis en pépinière

Il se fait après stratification de graines germées (germe de 0,5 cm). Les graines doivent être espacées de 15 cm (en tous sens) et le terrain ombragé pendant 15 jours.

4.2. Mise en place

Espacement 5 m x 5 m ou 6,5 m pour les variétés naines ; 7 m x 7 m ou

8 m x 8 m pour les variétés à grand développement (soit une densité de 200 à 400 arbres/ha).

Il existe des clones sélectionnés que l'on multiplie par greffage pratiqué sur des plants de un ou deux ans.

4.3. Taille

— Taille de formation :
- étêtage à 30-40 cm du sol (lutte contre le vent)
- égourmandage.

— Taille d'entretien : simple enlèvement annuel des bois morts.

4.4. Entretien

— Dégagement d'un cercle en-dessous de la frondaison.
— Rabattage des plantes de couverture sur l'interligne.

4.5. Fumure

Les tourteaux d'aleurites, toxiques peuvent être utilisés comme engrais mais ne doivent pas être donnés au bétail. Ils sont riches en N (27 %), en matières hydrocarbonées (24 %) et cellulose (26 %).

— Exportation d'une récolte de 5 t de fruits secs (en kg) :
N : 76 — P_2O_5 : 22 — K_2O : 100 — CaO : 25

Les analyses du sol permettent de déterminer la fumure à adopter localement. La fumure minérale doit être apportée à deux reprises : au début de la végétation et au milieu de la saison chaude.

4.6. Récolte

Première fructification à 3 à 4 ans. Durée d'exploitation utile 30 à 40 ans. On ramasse les fruits bien mûrs, tombés à terre. Rendements moyens en fruits secs :

Age	Rendement/pied	Rendement/ha	Huile produite
5	3 - 4 kg	2 400 kg	300 litres
6	4 - 5 kg	3 000 kg	370 litres
7	6 - 8 kg	4 800 kg	600 litres
8	8 - 10 kg	6 000 kg	750 litres
9	10 - 12 kg	7 000 kg	875 litres
10	13 - 14 kg	8 000 kg	1 000 litres

$$\text{Rendements : } \frac{\text{huile}}{\text{fruits}} = 15 - 17\ \% \quad \frac{\text{huile}}{\text{graine}} = 50 - 70\ \%$$

5. ENNEMIS ET MALADIES

Septobosidium aleuritides, en association avec des cochenilles : maladie chancreuse (troncs et rameaux) : traitement aux huiles blanches + parathion ou aux insecticides systémiques.

6. TECHNOLOGIE

Préparation et conditionnement :

Après séchage des fruits, le décorticage est assuré par des décortiqueurs à disques ou à cônes. Le broyage avant pression est précédé d'un triage des coques.

Taux d'extraction par pression à 80° C et 4 % d'humidité : 80 % de la teneur en huile des graines.

L'extraction par solvants permet de récupérer environ 4 % d'huile supplémentaire.

L'huile de tung est produite à partir d'*A. Fordii.*

L'huile d'abrasin (ou huile de mu) est produite à partir d'*A. Montana.*

L'huile d'abrasin diffère au point de vue structure chimique de l'huile de tung mais elle a une valeur égale et est généralement vendue comme huile de tung.

Ainsi l'appellation huile de tung s'applique aussi bien à l'huile d'*A. fordii* qu'à celle d'*A. montana*.

7. DONNÉES STATISTIQUES

A partir de l'Asie, la culture des aleurites s'est développée en Amérique du Sud et à Madagascar (région du lac Itasy plantée en *A. fordii*).

Les U.S.A. consomment 60 à 70 % de l'huile commercialisée.

Ordre de grandeur de la production mondiale totale : 95 000 t dont : Chine 63 000 t ; Amérique du Sud 30 000 t ; Madagascar : 1 000 t.

ARACHIDE

Papilionacée
Arachis hypogea

Groundnut (GB)
Peanut (USA)
Cacahuète, mani (Amérique latine)

1. BUT DE LA CULTURE

L'arachide est cultivée pour ses graines, graines servant surtout de matière première pour l'extraction d'une huile utilisée en cuisine et en savonnerie.

Les sous-produits d'huilerie sont nombreux :

— Les tourteaux (alimentation du bétail — 1,22 UF/kg.)
— Les farines de tourteaux.
— Les coques qui servent, après broyage, de combustible.
— Les pellicules rouges qui constituent un son.
— Les mucilages.

Mais une grande partie de la production d'arachide n'est pas transformée en

huile : il existe en effet, de nombreux autres modes de consommation de l'arachide : telle quelle ou grillée, sous forme de beurre d'arachide (1 à 2 kg/tête par an aux USA) etc.

Il ne faut pas oublier aussi que la graine constitue un des aliments de base dans les régions où elle est cultivée. Ailleurs elle sert de condiment. Dans un pays comme le Mali, la consommation de graines, est évaluée à 15 kg par personne et par an.

Enfin les fanes correctement récoltées et séchées ont une valeur fourragère très élevée — 0,4 UF/kg.

2. BOTANIQUE

Il semble établi que l'arachide est originaire de l'Amérique tropicale.

2.1. Caractéristiques

L'arachide est une légumineuse annuelle à fleurs aériennes typiques jaunes. L'ovaire, après fécondation, est portée en terre par le développement du gynophore. Le fruit (gousse) se développe et mûrit entre 3 et 5 cm de profondeur. La gousse est appelée « coque » au stade commercial.

Il faut noter que l'arachide possède un système radiculaire particulier : il n'a pas d'épiderme et par conséquent pas de vrais poils absorbants. L'absorption des éléments minéraux et de l'eau se fait directement par le parenchyme cortical.

2.2. Classement

L'espèce est divisée en plusieurs types :

	Spanish	Valencia	Virginia
Port	érigé peu ramifié	érigé peu ramifié	rampant ou érigé très ramifié (buissonnant)
Floraison	tige principale irrégulièrement fertile	tige principale irrégulièrement fertile	tige principale stérile
Cycle (en jours)	90-100	90-100	120-150
Gousse	bigraine	tri-quadrigraine	bigraine
Graines	petites, non dormantes	petites, non dormantes	grosses ou petites, dormantes
Fructification	en série	en série	alternée
Réaction à la cercosporiose	sensible	sensible	tolérante

Le type Virginia diffère très sensiblement des types Valencia et Spanish au point de vue dispositions des organes reproducteurs. Ceux-ci sont distribués sur les rameaux latéraux de façon alterné chez le type Virginia faisant succéder deux bourgeons végétatifs, deux bourgeons fructifères, alors que chez les types Valencia et Spanish on notera une série de bourgeons fructifères à la base suivis de quelques bourgeons végétatifs, puis à nouveau une série de bourgeons fructifères.

L'origine génétique différente des types cultivés rend difficile et incomplète l'association de certains caractères, cependant par hybridation et back-cross de nombreuses combinaisons recherchées pour une meilleure adaptation aux conditions de culture ont pu être obtenues.

1) **VARIÉTÉS HÂTIVES** (90-100 jours)
a) **Type Spanish**

— Résistantes à la sécheresse	55-437
— Résistantes à la sécheresse et dormantes	73-30
— Résistantes à la Rosette	Série KH et QH
— A usage confiserie	47-10
— A usage confiserie	Philippine Pink
— A usage huilerie	90 S
— A usage huilerie	Te 3
— A usage huilerie	Série TS et CN

b) **Type Valencia**

— A usage bouche	A 124 b

2) **VARIÉTÉS INTERMÉDIAIRES** (100-115 jours)

— Résistantes à la sécheresse	59-127
— A usage confiserie	57-422
— Résistantes à la sécheresse et à usage confiserie	73-33
— Arachide de bouche	GH 119-20
— A grosses gousses	NC 17

3) **VARIÉTÉS TARDIVES** (120-140 jours)
(par ordre dégressif de précocité)

— A usage huilerie	28-206
— A usage huilerie et résistantes à la Rosette	69-101
— A usage huilerie	57-313
— A usage bouche	73-27 ou 73-28 ou 756 A
— A usage huilerie et résistantes à la Rosette	Série RMP

• Les arachides d'huilerie doivent associer un rendement élevé au décorticage (72 %) à une forte teneur en matière grasse (50 %).

• Les arachides de bouche doivent avoir une teneur en matières grasses relativement faible (< 50 %) et un poids aux 100 gousses élevé (> 150 g) ; elles sont destinées soit à la consommation de **bouche** proprement dite (vente en coques) soit à la **confiserie** (vente en décortiquées).

3. ÉCOLOGIE

3.1. Température

L'arachide a de gros besoins en chaleur.

« En ce qui concerne la germination, c'est aux alentours de 32°-34° C qu'elle est la plus rapide. Elle est réalisée dans ces conditions en 4 à 5 jours. » (1)

« Les températures de 15° à 45° C apparaissent comme des extrêmes en deçà et au-delà desquels la germination est inhibée ». (1)

Pendant sa croissance il faut à l'arachide des températures comprises entre 24 et 33° C. Pour des températures inférieures à 10° C, la croissance de la plante est arrêtée. A 0,5° C la plante est tuée.

3.2. Pluviométrie

Il faut à l'arachide pour boucler son cycle végétatif, une hauteur d'eau comprise entre 400 et 1 200 mm ; afin de favoriser la maturation et la récolte, il est préférable que la dernière partie du cycle soit plus sèche.

C'est pendant la floraison et la fructification que l'arachide a les plus grands besoins en eau. On estime que l'interruption des pluies 20 jours après la formation d'une fleur empêche celle-ci d'évoluer jusqu'à la maturation des fruits. Toutes les fleurs formées moins de 20 jours avant l'arrêt des pluies sont dans l'impossibilité de se développer.

3.3. Luminosité

« Au stade de la germination, la lumière freine la vitesse d'inhibition des graines et le développement des racines. » (2)

« Au stade de la fructification, l'exposition des gynophores à la lumière retarde leur croissance, et les fruits ne peuvent se développer qu'à l'obscurité. » (2)

3.4. Sols

« Comme pour toutes les plantes, les facteurs physiques du sol interviennent dans l'adaptation de l'arachide au milieu, surtout par leur rôle dans l'alimentation hydrique et minérale et leur effet sur la pénétration et le développement des racines

« Contrairement à d'autres espèces, en raison du mode particulier de fructification de l'arachide, ils influent également sur la maturation, la qualité des gousses et la réalisation de la récolte. » (3)

« Il importe que texture et structure concourent à réaliser :

« — un bon drainage et de bonnes conditions d'aération du sol...

« — une pénétration facile des gynophores dans le sol...

« — un arrachage aisé de la récolte... » (4)

---

(1) P. Gillier et P. Silvestre, « L'Arachide », Maisonneuve et Larose, Paris 1969, page 52.
(2) Op. cit., page 54, (P. Gillier et P. Silvestre).
(3) Op. cit., page 49, (P. Gillier et P. Silvestre).
(4) Op. cit., page 50, (P. Gillier et P. Silvestre).

Les sols légers conviennent donc bien à l'arachide.

En ce qui concerne le pH, il doit être compris entre 6,5 et 7,5 mais peut varier entre 4,5 et 8.

3.5. Adaptation variétale

« D'une manière générale on peut dire que les arachides du groupe Virginia ont un potentiel de production plus élevé que celles du groupe Spanish-Valencia, mais des exigences écologiques plus strictes, notamment en matière de chaleur, de luminosité et d'alimentation en eau. » (1)

4. CULTURE

4.1. Préparation du sol

Un labour léger, voire un scarifiage, sont suffisants sur sols légers bien qu'un travail profond soit souvent rentable.

4.2. Semis

— **Préparation des semences** : Les semences, conservées en gousses, sont décortiquées de préférence à la main (15 kg/jt) au plus tôt 10 à 15 jours avant le semis. Elles sont ensuite triées pour éliminer les graines petites, avortées, clivées, moisies ou attaquées par les insectes, et les grosses qui boucheraient les trous des semoirs dans le cas de plantation mécanisée. Puis on les désinfecte par poudrage avec un mélange de fongicide (TMTD, Vitavax, Benlate ou Captafol) et d'insecticide (Aldrine, Heptachlore ou Carbofuran) à la dose de 2 ‰.

Le semis se fait à plat.

— **La date de semis** dépend du cycle, de la variété adoptée et de la pluviométrie. En général, les semis précoces sont les plus favorables (la maturité doit coïncider avec le début de la saison sèche). La terre doit être assez humide pour permettre la germination ; une pluie minimale de 20 à 30 mm est nécessaire lorsque les pluies sont bien établies, en cas contraire une pluie de 50 mm est indispensable.

Toutefois, il est préférable de semer en sec lorsque les pluies tardent trop à s'établir (la diminution de récolte qui résulte d'un semis sans préparation du sol étant inférieure à celle résultant d'un retard dans le semis : 1 % de perte par jour de retard) ; sauf cas très particuliers (faible profondeur des plateaux latériques ou sols hydromorphes), les billons sont inutiles et souvent nuisibles, lorsqu'ils résultent d'un labour destiné à simplement renverser les herbes les unes sur les autres.

Le semis à forte densité est indispensable pour lutter contre la rosette et pour assurer de bons rendements.

Il est recommandé de ne mettre qu'une seule graine par poquet.

(1) Op. cit., page 59, (P. Gillier et P. Silvestre).

— Durée de germination des graines : 4 à 6 jours
— Cycle : variable : de 90 à 150 jours
La floraison a lieu un mois après le semis.

Variétés	Densité optimale (pied/ha)	Espacement (cm)	Poids de semences (kg/ha)	
			coques	graines
Tardives (Virginia)	110 000	60 X 15 (1) 30 X 30 (2)	100-110	50-60
Hâtives (Spanish et Valencia)	170 000	40 X 15 (1) 15 au carré sur lignes jumelées espacées de 60 (1) 30 X 30 (2)	150	80

(1) en culture attelée.
(2) en culture manuelle.

4.3. Entretien

Deux binages sont indispensables. Trois ou même quatre sont parfois nécessaires en année de forte pluviométrie.

• Le premier au plus tard 15 jours après le semis (lutte contre les adventices, meilleure conservation de l'eau du sol).

« Son importance est fondamentale ; s'il est tardif, le rendement de l'arachide est compromis de façon irrémédiable.

• Le second, au moment de la floraison (30e ou 40e jour), de façon à assurer l'éclairement maximal nécessaire à ce stade végétatif, mais en aucun cas, après la sortie des gynophores. Après 60 jours, le binage est à proscrire.

4.4. Fumure

L'arachide ne répond aux engrais que s'il y a une déficience minérale bien marquée. Souvent dans les pays développés, elle se contente de la fumure minérale résiduelle de la culture précédente. Elle a une faculté très développée d'utilisation des éléments minéraux disponibles, ce qui lui permet de pousser dans des conditions considérées comme très difficiles (là où d'autres plantes ne peuvent se développer).

A titre indicatif on trouvera ci-dessous 3 tableaux concernant les exportations d'éléments nutritifs.

a) D'APRÈS COLLINS ET MORRIS POUR UNE CULTURE AUX ÉTATS-UNIS

	N	P_2O_5	K_2O	Ca O	Mg O
Exportation totale (kg/ha) (1)	156,3	27,2	115,2	65,9	33,9
Exportation en g par kg/ha) de :					
fourrage	19,7	2,6	20,5	13,7	6,3
graines	44,1	10,1	8,5	0,8	3,1
coques	6,4	1,1	13,7	3,9	1,5
gousses	30,5	6,9	10,4	1,9	2,6

(1) Pour une récolte totale par hectare de 4 480 kg de fourrage + 1 430 kg de graines + 800 kg de coques, soit 4 480 kg de fourrage et 2 230 kg de gousses.

b) ENQUÊTE IRHO ZONE SUD DU SÉNÉGAL

Exportation **théorique** en éléments minéraux par une culture d'arachide ayant produit 3 030 kg de gousses/ha et 2 295 kg de fourrage/ ha :

N	P	K	Ca	Mg	S
145	10,28	45,05	30,44	26,90	9,04

c) ENQUÊTE IRHO

Exportations **réelles** en éléments minéraux (en kg/ha) correspondant à une récolte de 1 tonne/ha de gousses :

	N	P	K	Ca	Mg
Louga	47,4	2,2	12,6	5,9	3,8
Tivaouane	52,0	3,8	11,8	7,0	4,4
Kaolack	45,0	3,7	13,7	8,3	7,2

Ces tableaux montrent que l'arachide a de faibles exigences en produits minéraux, ce qui explique qu'elle ne réponde pas aux fortes fumures minérales.

Des doses de 75 à 150 kg/ha d'une fumure à dominante phosphatée suffisent dans la grosse majorité des cas.

N = 10 kg/ha P_2O_5 = 30 kg/ha.

Souvent les apports de P_20_5 et de soufre sont les plus marquants. Des carences en molybdène peuvent être parfois constatées, ainsi qu'une toxicité manganique lorsqu'il y a un déséquilibre du rapport Ca/Mn.

L'analyse foliaire est pratiquée :

— sur feuille de rang 4 de la tige principale au 45e jour pour les variétés tardives ;
— sur feuille de rang 6 au 35e jour de végétation pour les variétés hâtives.

Seuils : N ..... 4 % de matière sèche
P ..... 0,25 % de matière sèche
K ..... 1 % de matière sèche

4.5. Récolte

Elle doit se faire dès la maturité : pour les variétés groupe Virginia, à l'apparition de taches brunes à l'intérieur de la coque ; pour les variétés sans dormance, quand 2 % des pieds présentent une germination (les gousses mûres des variétés sans dormance germent en 6 à 10 jours si le sol est humide).

La maturité se reconnaît plus généralement à ce que les parois de la gousse sont sèches et que la pellicule de la graine se détache facilement.

On arrache, on fait sécher 2 ou 3 jours, gousses en l'air (sur le sol ou en moyettes), puis on sépare les gousses par battage.

En cas de pluies tardives survenant après la récolte, il importe de remanier les tas pour éviter les moisissures.

Le principe général est le suivant :

— abaisser rapidement la teneur en eau aux environs de 15 % puis, descendre progressivement jusqu'à 8-10 % ;

— ne pas dessécher trop brutalement, ni à trop forte température.

Il faut absolument éviter :

1. d'arracher et de mettre immédiatement en tas des plantes encore vertes,
2. de mettre en tas des plantes mouillées par la pluie,
3. de laisser les plantes en tas après une forte pluie,
4. d'arracher et de laisser sécher en plein soleil pendant plusieurs jours. (1)

En ce qui concerne les arachides de bouche, il faut les rentrer rapidement afin d'éviter les attaques de termites sur les coques et la pluie qui fait noircir les gousses. Celles-ci sont lavées, séchées et triées (coloration jaune paille).

4.6. Rendements

Très variables : de 300 à 3 000 kg/ha et plus en coques.

Moyennes : 1 000 à 1 500 kg coques/ha en culture améliorée

1 000 à 2 000 kg/ha de fourrage en culture améliorée

Rendement au décorticage 65 à 73 % suivant les variétés et les conditions écologiques.

Densités : 1 m^3 de gousses pèse 285 à 360 kg

1 m^3 de décortiquées pèse 550 à 650 kg

Le poids de 1 000 graines varie de 800 à 1 000 grammes.

5. MALADIES ET ENNEMIS (2)

5.1. Maladies

5.1.1. MANQUES À LA LEVÉE ET MALADIES DES PLANTULES

Causés par de nombreux champignons.

On peut les éviter par l'utilisation de graines saines, par un semis direct, et surtout par la désinfection des semences au fongicide insecticide.

(1) P. Gillier et P. Silvestre, op. cit., page 139.

(2) Paragraphe résumant le chapitre IX du livre de Gillier.

5.1.2. FLÉTRISSEMENTS EN COURS DE VÉGÉTATION

Ils sont dus à des champignons : *Macrophomina phaseoli* (pourriture sèche) — *Sclerotium rolfsii* (pourriture du collet).

5.1.3. MALADIE DES ORGANES AÉRIENS

Cercosporiose due à un champignon. C'est l'une des maladies les plus graves et les plus répandues de l'arachide. Elle entraîne des pertes de récolte estimées entre 15 et 30 %.

On lutte par l'amélioration des méthodes culturales, ou par des méthodes génétiques ou chimiques.

Le traitement recommandé est le Benlate, (dose 150 g de matière active/ha tous les 10 jours).

La rouille (*Puccinia arachidicola*) a fait son apparition en Afrique tropicale de l'Ouest en 1976 ; le seul fongicide à recommander pour l'instant est le Daconyl (dose 1 300 g de matière active/ha tous les 10 jours).

5.1.4. ALTÉRATION DES GRAINES

Deux espèces de champignons, l'*Aspergillus flavus* et l'*Aspergillus parasiticus* sont particulièrement dangereuses ; sous certaines conditions, elles sécrètent des composés cancérigènes, très toxiques pour de nombreux animaux domestiques. Les toxines qui ont reçu le nom d'**aflatoxines** ne passent pas dans l'huile ; par contre, elles restent dans les tourteaux qui, utilisés sans précaution dans l'alimentation du bétail, peuvent entraîner des mortalités ou des retards de croissance importants.

Dans les conditions naturelles, l'aflatoxine se forme surtout lorsque les amandes ont une teneur en eau comprise entre 9 et 35 % ; la blessure des coques favorise l'installation des champignons.

Les mesures suivantes permettent d'obtenir une récolte saine ou à très faible teneur en aflatoxine. Elles consistent :

1) à récolter dès maturité,
2) à sécher rapidement,
3) à éviter toute réhumidification ultérieure des gousses,
4) à trier les graines.

L'élimination des gousses fendues ou percées et des amandes tachées, soit extérieurement, soit intérieurement, permet de réduire les taux d'aflatoxine et d'obtenir une récolte pratiquement indemne de toute toxine.

5.1.5. MALADIES A VIRUS

a) **La rosette**

Un virus transmis par un puceron (*Aphis leguminosae*) est responsable du rabougrissement de certains pieds.

L'incidence de la maladie sur les rendements est très importante.

La récolte, en effet, est pratiquement nulle si la rosette se manifeste avant le 40e jour après le semis. Par contre, l'effet de la rosette est très faible lorsqu'elle apparaît le 100e jour.

On lutte essentiellement contre cette maladie par un semis dense et précoce et surtout par l'utilisation de variétés résistantes telles que la 1040 (tardive) ou la 149A (hâtive).

Notons que les insecticides (pour détruire les pucerons) ne sont pas rentables.

b) **Le rabougrissement ou « clump »**

5.2. Les insectes nuisibles

La résistance de la plante est remarquable et seuls les pieds dont l'axe est coupé meurent. Souvent les jeunes plants, rongés par des iules en particulier, ne disparaissent que par suite d'une maladie cryptogamique consécutive à la blessure.

De très nombreux insectes peuvent attaquer toutes les parties de la plante.

La lutte se fait par pulvérisations.

Pour les arachides entreposées (en coque) une bonne méthode consiste à traiter en sacs, (sous de grandes bâches en plastique) au bromure de méthyle (lutte contre les bruches).

Il faut 36 g de produit par m^3 de gousses (durée de l'opération au moins 48 heures).

Le traitement élimine les parasites installés à l'intérieur des graines mais doit être complété par des traitements mensuels pour éviter la réinfestation. Actuellement les Pyrethrinoides et le Pyrimiphos-Methyl sont les produits les mieux adaptés en raison de leur toxicité peu importante.

5.3. Autres prédateurs

Les iules (myriapodes) et les nématodes peuvent causer des dégâts importants en culture.

6. TECHNOLOGIE

6.1. L'huile d'arachide

Composition de l'amande :	Lipides	45 à 54 %
	Protéines	20 à 36 %
	Glucides	9 à 12 %

6.1.1. EXTRACTION DE L'HUILE

L'huile est extraite de l'amande par pression à chaud, soit en discontinu, soit en continu :

• EN DISCONTINU : on extrait, par première pression à 300 kg/cm^2, 31 % d'huile de 1re qualité.

Une deuxième pression donne 5 à 10 % d'huile de 2e qualité. Il reste 55 % de tourteau, la différence venant de l'eau et des matières en solution dans celle-ci.

• EN CONTINU :

à 80° - 90° C le taux d'extraction est de 45 %

à 100° - 110° C le taux d'extraction est de 47 % à 48 %

Par solvants, on peut extraire de l'huile du tourteau expellé ramenant son taux d'huile de 4 à 5 % à environ 0,5 %. L'huile d'arachide a une valeur énergétique de 9 400 calories/kg.

Pour des raisons économiques, on estime généralement que l'installation

d'une huilerie ne se justifie que si l'on dispose d'un minimum de 10 000 t/an d'arachides décortiquées, mais chaque cas doit être étudié séparément.

Suite des opérations pour l'extraction de l'huile :

Arachides en gousses

nettoyage →	gousses propres.
décorticage →	graines + débris de coques.
dépelliculage →	graines démunies de leur pellicule.
broyage →	pâte.
chauffage et humidification →	pâte chaude et humide.
1er Pressurage →	huile et tourteaux de 1re pression.
2e Pressurage →	huile et tourteaux de 2e pression.
démucilagination →	huile dépourvue de mucilages.
neutralisation →	huile sans acides gras libres.
décoloration →	huile de belle couleur.
désodorisation →	huile sans mauvaises odeurs.

stockage

mise en fûts ou en bouteilles ou en bidons

Huile d'arachide

6.1.2. LES RÉSULTATS

Les gousses d'arachide renferment en moyenne 68 à 80 % de graines et 20 à 32 % de coques. Les graines sont composées de :

72,6 % de cotylédons,
4,1 % de tégument séminal,
3,3 % d'embryon.

La teneur en huile des cotylédons varie de 45 à 53 %.

En moyenne 100 kg de gousses renferment 70 kg de graines qui donnent 35 kg d'huile.

6.2. L'arachide de bouche

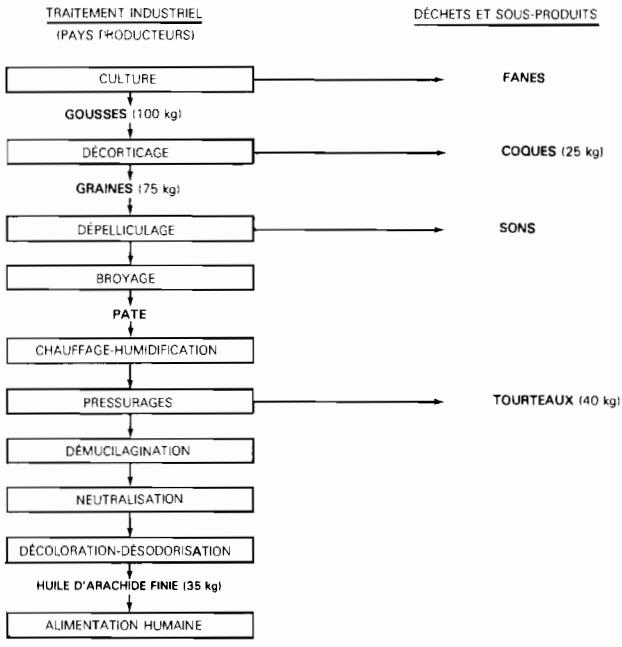
Une partie non négligeable de la production est consommée sous forme d'arachide de bouche. On réserve à cet usage les produits de certaines variétés (cf. variétés).

L'arachide de bouche est commercialisée soit en coques, soit décortiquée.

La valeur alimentaire des graines décortiquées est la suivante :

eau	3 à 8 %
protéines	22 à 32 %
lipides	34 à 54 %
cellulose	1,5 à 3 %
extractif non azoté	16 à 22 %
sels minéraux	2 à 3 %

ARACHIDE
SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (1)

	U.S.A.	SUD-SÉNÉGAL	
	Culture mécanique (en heures)	Culture manuelle (en journée d'homme)	Culture attelée
— préparation du terrain	7,5	10	3
— décorticage semences	—	9	9
— semis	5,3	9	1,5
— épandage engrais	—	1	1
— premier binage	30,0	20	6
— deuxième binage	10,7	15	2,5
— traitement antiparasitaire	1,5	—	—
— arrachage	—	15	10
— mise en meule	50,5	—	—
— battage	—	6	6
— vente et transport	4,2	—	—
— TOTAL	109,7 h.	85 journées	39 journées
— tracteur	26 heures	—	
— cheval		—	12 j. d'attel.

7.2. Production arachides non décortiquées 1986

Continents	Surf. X 1 000 ha	Prod. X 1 000 t	Rendt X 100 kg
Amérique Nord et australe	763	1 841	24,12
Amérique du Sud	402	495	12,32
Asie	13 091	14 696	11,23
Afrique	5 379	4 410	8,20
Reste du monde	46	70	15,20
Production mondiale	19 681	21 512	10,93

Estimation F A O

Prod. rang	Pays	Surf. X 1 000 ha	Prod. X 1 000 t	Rendt X 100 kg
1	Inde	7 800*	6 400*	8,21
2	Chine	3 503*	5 995*	17,12
3	U S A	621	1 677	27,01
4	Indonésie	544	844*	15,52
5	Sénégal	600 F	720*	12,00

F = estimations F.A.O. * données non officielles

(1) D'après Gillier et Silvestre, op. cit, p. 142.

7.3. Commerce Arachides (non grillées, décortiquées) 1986 (en milliers de tonnes)

Rang	Exportations		Importations	
1	USA	275	Royaume-Uni	124
2	Chine	262	Pays-Bas	105
3	Argentine	113	Allemagne Féd.	77
4	Inde	22	Canada	72
5	Gambie	19	URSS	61

CARTHAME

Composée **Safflower**
Carthamus

1. BUT DE LA CULTURE

Autrefois, le carthame était surtout utilisé comme plante tinctoriale et condimentaire, mais actuellement sa culture comme plante oléagineuse prime tous les autres usages.

2. BOTANIQUE

Le genre Carthamus, originaire d'Asie mineure, comprend plusieurs espèces dont *C.tinctorius* utilisé depuis longtemps longtemps pour les propriétés thérapeutiques de son huile et pour ses pigments (teinturerie).

C'est une plante buissonnante portant 1 à 5 capitules, annuelle avec un cycle végétatif variant de 110 à 150 jours. Elle possède un système radiculaire très développé en profondeur. Plante allogame, sa floraison est étalée sur 3 à 4 semaines : elle commence de 55 à 75 jours après le semis pour les variétés hâtives et de 85 à 95 jours après le semis pour les variétés tardives. Les fruits sont des akènes à péricarpe le plus souvent blanc ; les graines pèsent de 2,5 à 5 g.

3. ÉCOLOGIE

Le carthame demande un climat sec et chaud avec une pluviométrie totale de 500 à 800 mm sur des sols sableux et bien drainés.

300 à 400 mm suffisent pendant le cycle végétatif, surtout si les sols possèdent une réserve d'eau.

Température minimale de germination : 6° C ; optimale : 18-20° C. Chaleur et lumière à la floraison sont bénéfiques.

4. CULTURE

Le carthame, dans l'assolement, prend la place d'une céréale ; il peut suivre une culture irriguée. Un enfouissement de jachère lui est favorable avec une préparation soignée du sol en profondeur.

— **Semis** :
De 8 à 15 kg de semences à l'hectare en culture pure.

— **Entretien** :
Binages fréquents tant que le sol n'est pas couvert.

— **Fumure** :
N = 20-30 kg/ha P_2O_5 = 60-80 kg/ha
K_2O = 0-75 kg/ha

Les rendements à la récolte varient de 400 à 2 500 kg/ha.

5. ENNEMIS ET PARASITES

Nématodes : sur jeunes semis.
Acanthiophilus helianthi : diptère qui détruit les fleurs.
Dactynotus carthami : piqûres sur feuilles jeunes.
Perigea capensis : chenilles des feuilles.
Laphygma exigua : chenilles des feuilles.
Héliothis armigera : détruit le capitule.
Puccinia carthami.
Cercospora carthami.
Alternaria carthami.
Sclérotinia scierotiorum.
Phytophtora drechsleri.

6. TECHNOLOGIE

Pour le stockage, la graine doit présenter moins de 8 % d'humidité.

$$\frac{\text{Graine}}{\text{Huile}} = 20\text{-}40\ \%$$

Les fleurs contiennent de 0,3 à 0,6 % de *carthamine* (pigment de couleur rouge insoluble dans l'eau) et de 20 à 30 % de *jaune de carthame* soluble.
Rendements : 125-140 kg/ha de pétales secs à l'hectare.

7. ÉCONOMIE

Production mondiale de graines : 840 000 t dont :
— 250 000 t en Amérique du Nord.
— 497 000 t en Inde.

COCOTIER

Palmacée — **Coconut**
Cocos nucifera — **Coco**

1. BUT DE LA CULTURE

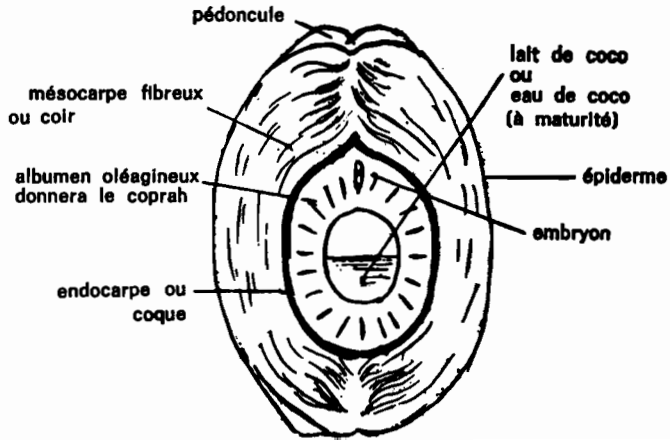
Le cocotier procure à l'homme de très nombreux produits qui lui sont d'une grande utilité. C'est l'arbre cultivé le plus répandu dans le monde. On le cultive surtout pour ses fruits. Ceux-ci possèdent :

— une enveloppe externe fibreuse (employée en filature et tissage).
— une amande qui peut se consommer à l'état frais et que l'on peut faire sécher (coprah) pour en extraire de l'huile. (C'est de loin l'utilisation la plus importante).
— de l'eau de coco qui constitue un breuvage rafraîchissant.
— un coque qui a, elle aussi, diverses utilisations (cf. chapitre technologie).

Outre les fruits, bien d'autres parties du cocotier sont utilisées par l'homme. Par l'incision de l'inflorescence, on obtient une sève qui sert à la fabrication de boissons alcoolisées, d'alcool de vinaigre, ou dont on extrait des sucres. Les racines sont utilisées en pharmacie. Le tronc pour les charpentes ; les feuilles pour la confection de nattes, de chapeaux etc. Enfin le bourgeon terminal se consomme à l'état frais ou cuit (chou coco).

Le cocotier mérite donc bien son nom « d'arbre aux cent usages ».

COMPOSITION DU FRUIT (noix de coco)



2. BOTANIQUE

2.1. Origine

« La patrie d'origine de la plupart des plantes cultivées a pu être retrouvée grâce à l'existence de types sauvages. Le cocotier fait exception car on n'en connaît pas de peuplement spontané » (1)

« L'hypothèse du Sud-Est asiatique, patrie du cocotier, semble être finalement la plus probable » (2)

Actuellement le cocotier est répandu dans toute la zone intertropicale du globe.

2.2. Description (*cocos nucifera*)

« Le cocotier est un palmier monoïque, pouvant atteindre 25 à 30 m de hauteur. Il possède un tronc lisse ou stipe de 0,25-0,30 m de diamètre, à base épaissie, couronné par une vingtaine de feuilles pennées de 3,5-6 m de longueur sur 1 m de largeur. Suivant la variété et le climat, il forme de 10 à 20 nouvelles feuilles par an. Le système racinaire, très développé, est composé de racines minces et longues.

« Les inflorescences ramifiées portent, réunies, un grand nombre de petites fleurs des deux sexes. Ces inflorescences, ou spadices, sont enfermées dans une grande bractée qui porte le nom de spathe. Les fleurs femelles sont disposées à la base des ramifications, les fleurs mâles en haut. Après fécondation généralement croisée, elles se développent en de grosses drupes de forme ovoïde dont chacune se compose d'une graine, la noix de coco, et d'une enveloppe fibreuse se desséchant et durcissant à l'approche de la maturité (coir). La noix de coco proprement dite est constituée d'un endocarpe très dur de 5 mm d'épaisseur, à l'intérieur duquel se trouve l'endosperme de couleur blanchâtre et qui contient un liquide opalin et sucré « l'eau de coco » qui remplit aux 3/4 sa cavité centrale. C'est l'albumen qui, après dessiccation, constitue le coprah du commerce. » (3)

L'allongement du stipe est variable. Les formes dites « naines » sont à croissance plus lente et à production plus hâtive.

Il s'écoule de 10 à 12 mois entre la floraison et la maturité.

Les fruits sont réunis en régimes de 10 à 15 noix.

2.3. Variétés

On distingue classiquement deux types de variétés :

2.3.1. LES VARIÉTÉS ALLOGAMES (fécondation croisée)

« On désigne généralement sous le terme « cocotier grand » (ou typica) diverses formes de cocotier dont le seul caractère commun est l'allogamie » (4)

---

(1) Y. Fremond et R. Ziller, M. Nuce de Lamothe — « Le Cocotier », Maisonneuve et Larose, Paris, page 10.

(2) Id. page 11.

(3) Van Den Abeele et Vandeput — op. cit. p. 333.

(4) Y. Fremond et R. Ziller, M. Nuce de Lamothe — « Le Cocotier », Maisonneuve et Larose — Paris, page 12.

« Les formes allogames cultivées se répartissent en 2 groupes :

a) des arbres portant un grand nombre de noix, de taille moyenne et à faible rendement en coprah.

Citons dans ce groupe, le cocotier commun de l'Afrique de l'Ouest, le cocotier des Seychelles, le cocotier des Nouvelles Hébrides, le cocotier des Iles Laquedives (Inde) ;

b) des arbres comportant un nombre moyen de grosses noix, chacune donnant généralement un poids élevé de coprah.

Citons le cocotier Ramona, le cocotier de Ko-Samui (Thaïlande), le cocotier de Tahiti, le cocotier Kappadam (Inde), le cocotier San Blas (Panama) » (1)

Beaucoup de formes intermédiaires existent entre ces deux groupes.

2.3.2. LES VARIÉTÉS AUTOGAMES (autofécondation)

« Elles présentent généralement des caractères végétatifs réduits par rapport aux types précédents et sont souvent désignées sous le terme de "Nain". »

Ce sont des cocotiers très précoces, et portant un grand nombre de petites noix. On classe les cocotiers nains suivant la couleur de l'inflorescence et du fruit en : nain vert (*pumilla*), nain jaune (*eburnea*), nain rouge (*regia*), nain brun...

Leur intérêt est grand en sélection pour la production d'hybrides Nains x Grands qui se se sont révélés très productifs.

Le matériel végétal qui est livré actuellement aux planteurs se compose principalement d'hydrides de Nains plus précoces et d'un rendement en coprah/ha bien plus élevé à l'âge adulte. Le plus répandu est le PB 121 (Nain jaune de Malaisie x Grand ouest-africain) créé par l'IRHO (2)

3. ÉCOLOGIE

3.1. Le climat

« La culture du cocotier requiert, pour être économiquement valable, les impératifs climatiques suivants :

— **Pluviosité** :

Limite inférieure 130 mm d'eau/mois, avec une période sèche (moins de 50 mm par mois) n'excédant pas trois mois consécutifs.

— **Température** :

Optimum de 27 à 28° C pour la moyenne annuelle, avec une limite inférieure de 20° C à franchir le moins souvent possible.

— **Ensoleillement** :

Il n'existe pour l'ensoleillement aucune limite supérieure ; il faut éviter les régions mal ensoleillées.

— **Humidité** :

Le taux de saturation doit toujours être élevé : 80 à 90 %.

Les minima mensuels ne doivent pas être inférieurs à 60 %.

La proximité de la mer n'est pas une nécessité (il existe en Inde des cocoteraies à 100 ou 200 km de la côte), mais, son action dans la régulation du

(1) Pages 14 et 15, « Le Cocotier », op. cit.

(2) IRHO : Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux - Département du CIRAD

climat, constitue un élément favorable à cette culture. » Par ailleurs, les embruns marins apportent aux arbres les ions chlorés indispensables (1).

3.2. Le sol

Le cocotier demande des sols meubles, profonds, bien aérés, correctement drainés. Il se contente de sols pauvres.

On le trouve sur les cordons littoraux constitués de sables coquilliers ou corralliens.

Le pH du sol peut varier de 5 à 8.

4. CULTURE

4.1. Multiplication

Le cocotier se multiplie par semis des noix. La germination se produit naturellement sans qu'il soit nécessaire de faire appel à des techniques de forçage (comme c'est le cas pour le palmier à huile).

4.2. Choix des semences

Il faut distinguer deux types de semences :

— Les noix de semences de sélection massale sont prélevées sur des arbres qui fournissent régulièrement un grand nombre de fruits sains, et à *coprah abondant.*

Le caractère « fort coprah » a une grande importance.

— Les noix de semences hybrides proviennent de croisements entre populations d'origine géographique distincte. Elles sont obtenues dans des jardins graniers dans lesquels on castre la partie mâle des inflorescences des arbres-mères. Les fleurs femelles sont fécondées par du pollen provenant d'une autre origine.

Avant de mettre ces noix sélectionnées à germer, il est bon de les placer en un lieu à l'abri du soleil, de la pluie et bien ventilé, pendant 3 semaines à 1 mois, afin qu'elles parviennent toutes à un bon degré de maturité.

Une noix de coco bien mûre produit un bruit clair (clapotis du liquide) lorsqu'on la secoue.

4.2.1. MISE EN GERMOIR

Le germoir est l'endroit où l'on va faire germer les noix de coco choisies comme semences avant de les transplanter, une fois germées, dans une pépinière. (2)

Au bout de 4 à 8 semaines, suivant la nature du matériel végétal, les premiers germes apparaissent ; la germination est terminée au bout de 4 à 5 mois.

On repique les noix en pépinière dès que les germes apparaissent. On élimine les noix qui germent tardivement... La vitesse de germination est liée à la précocité et à la production. On éliminera également les germes anormaux. Par

(1) Revue *Oléagineux* 26 n° 6, 1971 ; 43 n° 1, 1988.
(2) *Oléagineux* 36 n° 6, 1981.

la suite, dans la pépinière, on élimine encore 15 % des plants environ, ceux qui sont étalés ou petits, ceux qui ont des folioles petites ou soudées.

Il faut donc compter, en moyenne, sur deux noix pour obtenir un bon plant de cocotier.

4.2.2. TRANSPLANTATION EN PÉPINIÈRE

Pour les pépinières en pleine terre, on choisit un terrain léger, perméable, homogène, sain et proche d'un point d'eau.

Disposition en triangle de 60 cm de côté : d = 3 au m^2.

De plus on fait appel à des pépinières en sacs de polyéthylène noir. Cette technique permet d'avoir des plants plus vigoureux et plus précoces. Les jeunes plants peuvent être transplantés à partir du moment où ils sont développés, ce qui se produit vers 5 à 7 mois après leur repiquage dans les pépinières en sacs (1).

4.3. Plantation

Une fois le terrain favorable choisi, on défriche et on débroussaille le sol, sans incinération totale, si possible. Les arbres abattus constituent un milieu idéal pour le développement des larves de l'oryctès, insecte très dangereux pour les cocotiers. On empêche ce développement soit en brûlant la végétation ligneuse dont le diamètre est supérieur à 10 cm, soit en alignant les arbres en andains qui seront totalement recouverts par une légumineuse, le Pueraria en général.

Puis, on nivelle le sol en rebouchant les trous les plus profonds. La densité de plantation est de 143 arbres pour les cocotiers « Grands » et de 160 arbres à l'hectare pour les hybrides de « Nains », ce qui correspond à une plantation à 9 m en triangle (interligne de 7,35 m) dans le premier cas et à 8,5 m (interligne de 7,80 m) dans le second.

Les lignes sont orientées nord-sud. Seuls les plants trapus sont utilisés.

La plantation proprement dite ne doit débuter qu'après les premières averses de la saison des pluies.

Un soin particulier doit être apporté à la mise en place des plants.

Éviter les poches d'air. Le collet ne doit pas être trop enterré ; lorsque la plantation est bien faite, 5 cm de terre recouvrent le sommet de la noix. Dans le cas d'une plantation en sacs de polyéthylène, faire un trou légèrement plus grand que le diamètre du sac et remplir de terre légère l'espace qui se trouve entre la motte et les parois du trou.

Dans les zones où existent des rongeurs, protéger le plant avec un collier de grillage métallique.

4.4. Entretien

« Un cocotier bien planté s'en souvient toute sa vie ». En effet, un tel arbre produira dès sa 4e ou 5e année et atteindra rapidement une haute production annuelle, tandis qu'un arbre mal planté et mal entretenu ne commencera à donner que vers 10 à 11 ans et il n'aura qu'une production médiocre.

(1) *Oléagineux* 36 n° 7, 1981.

On commencera par remplacer les manquants au début de la saison des pluies suivante.

Les sarclages seront fréquents durant les premières années. Par la suite, on n'en réalisera plus que 2, en moyenne par an.

Il est bon de pailler le pied des jeunes cocotiers, après avoir terminé les sarclages avec des demi-bourres de cocos, qui conservent très bien l'humidité.

Si la légumineuse de couverture devient trop envahissante, il faut la rabattre.

Dès que les feuilles meurent, les enlever et les ranger sur l'interligne où elles se décomposent. On ne risque pas l'oryctès dans ces feuilles.

4.5. Fumure

4.5.1. SUR LA PLANTATION

Fumure organique :

On peut apporter du fumier de ferme bien décomposé à la dose de 50 à 100 kg par arbre tous les ans. Il faut placer ce fumier dans des fosses situées dans les interlignes.

On peut utiliser les engrais verts, de préférence une légumineuse, dans les interlignes. Cette légumineuse servira en même temps de couverture.

Fumure minérale :

Elle varie avec l'âge du cocotier mais surtout avec le climat et la nature du sol. Elle est déterminée par la méthode du diagnostic foliaire. Les niveaux critiques de la feuille 14 sur arbres adultes sont (en p. cent de matière sèche) :

	N	P	K	Ca	Mg
Cocotier grand	2,0	0,120	0,900	0,500	0,280
Hybrides N x G	2,0	0,120	1,2 à 1,4	0,500	0,240

Il est impossible de donner une formule de fumure de valeur universelle. Chaque plantation constitue un cas d'espèce.

La fumure minérale est épandue à la main sur une surface circulaire de 0,5 à 2 m de rayon environ autour du tronc suivant l'âge des plants, puis enfouis superficiellement.

Éviter de mettre les engrais contre le collet des arbres dans le jeune âge.

Exemple d'un barème appliqué en Côte d'Ivoire sur Cocotier « Grand » en Kg par arbre.

Année	N Sulfate d'ammoniaque	P Phos. bicalcique	KCl	Mg Kiésérite
0	0,200		0,100	0,100
1	0,300	0,200	0,300	0,200
2	0,500		0,400	0,300
3	1,000	0,400	0,500	0,400
4			0,750	0,500
5		0,600	1,000	0,750
6			1,500	1,000
7 et au-delà		0,600	1,500	1,000

4.6. Récolte et rendement

Entrée en production : 4 à 6 ans — durée 40 à 60 ans.

La date de récolte varie beaucoup avec la destination de la noix :

- pour la consommation directe (eau et albumen) à l'état frais, on récoltera entre le 6e et le 8e mois ;
- pour le coprah, on récoltera à partir du 11e mois ;
- pour les semences, on récoltera à pleine maturité, c'est-à-dire entre les 12e et 13e mois.

Les noix arrivées à pleine maturité tombent sur le sol. On peut donc se contenter de les ramasser, mais, dans la pratique, afin d'éviter les vols, on cueille les noix mûres en coupant les régimes au coupe-coupe ou à l'aide d'une faucille emmanchée.

Il se forme, en moyenne, un régime par mois. Aussi faut-il passer périodiquement tout au long de l'année dans la cocoteraie afin de cueillir les noix mûres. Le rythme de 1 passage tous les deux mois est généralement adopté sur les plantations industrielles.

Le nombre de noix varie beaucoup avec l'âge des cocotiers. On récolte en moyenne chaque année sur des cocoteraies sélectionnées :

Exemple de récolte en Côte d'Ivoire
Noix/arbre/an

Age	Cocotier « Grand » GOA	Hybride de « Nain » PB 121
4 ans	—	6
5 ans	—	35
6 ans		90
7 ans	8	125
8 ans	50	135
9 ans	75	135
10 ans	85	135
11 ans et +	90	135

Cette production est variable suivant le climat et la fumure. Une très bonne plantation peut donc fournir plus de 4 t de coprah à l'hectare par an, c'est-à-dire que les cocotiers doivent donner plus de 120 noix par an, chaque noix contenant plus de 200 g de coprah.

En culture extensive : 0,5 à 1 t de coprah/ha.

5. MALADIES ET ENNEMIS

5.1. Les insectes nuisibles du cocotier (1)

Citons, dans l'ordre de leur importance économique

Nom et Nature	Dégâts causés	Lutte
Oryctes dont O. Rhinocéros (Coléoptère)	L'adulte creuse ses galeries dans le pétiole et s'enfonce vers le cœur	— préventive — curative avec sciure mouillée à l'aisselle des feuilles (50 g de lindane micronisé (à 90 % de M.A. dans 10 litres d'eau)
Rynchophores	Les galeries de la larve minent le tronc et les pétioles	Extirpation des larves. Injection d'une solution de Dimethoate à 0,08 % de M.A. 50 à 200 ml/arbre
Aspidiotus destructor (cochenille)	Chlorose des palmes, dessèchement en cas de fortes attaques	Lutte biologique (coccinelles) Pulvérisation de Dimethoate à raison de 50 g de M.A. pour 100 l d'eau
Zygène (chenille)	Les chenilles dévorent les folioles	— Carbaryl (1,5 kg par ha)
Parasa (chenille)	Les chenilles se nourrissent aux dépens des folioles	— Carbaryl (Sevin) : 400 l de solution/ha contenant 1,0 kg de M.A.
Zophopetes (chenille)	Les chenilles dévorent les folioles	— Magirol
Acéria (Eriophyes)	Acarien qui broute les tissus qui apparaissent sur les pièces florales	Chinométhionate monocrotophos 40 à 80 g MA par hl toutes les 4 à 6 semaines
Diocalandra (charançon)	Le cocotier se « déchausse » en émettant des racines jusqu'à 1 mètre de hauteur	— Dieldrine
Rhina nigra (charançon)	Parasite des blessures	Éviter les lésions
Melitomma insulare	Jaunissement des palmes après pénétration des larves dans le tronc	Curetage

(1) *Oléagineux*2 36 n° 74, 1981. Numéro spécial.

Nom et Nature	Dégâts causés	Lutte
Termites	Attaque des noix en germination et sur les jeunes plantations	— destruction de la termitière et arrosage abondant avec une solution contenant 300 g d'actidrine dans 100 l d'eau — sur les plants : solution de 150 g de Soldrine 40 dans 100 l d'eau
Pseudothéraptus	Piqûres sur les noix à tous les stades de leur développement	Pas d'incidence économique importante

5.2. Autres animaux nuisibles

Il y a :

— les « Agoutis » qui sont de gros rongeurs détruisant les jeunes plants. A la plantation, on met autour du cocotier un collier de grillage métallique ;

— les rats qui causent des dégâts importants sur les plantules ou les arbres adultes.

On lutte contre eux avec des appâts empoisonnés ou des anneaux de tôles placés autour des troncs.

— les chauves-souris qui arrivent à consommer les noix. On les tue au fusil ;

— les crabes (*Birgus latro*). « Ce sont les seuls crustacés associés aux cocotiers en Mélanésie et Polynésie. Ils construisent leurs nids aux pieds des cocotiers, percent les noix au niveau des orifices de germination au moyen de leurs fortes pinces antérieures, puis introduisent leurs pinces postérieures, plus minces, pour dilacérer la pulpe. Un crabe adulte détruit en moyenne deux noix par jour. Sa multiplication est limitée par la chasse qui lui est faite, sa chair étant très recherchée » (1).

5.3. Les maladies du cocotier

Les causes de ces maladies sont encore très peu connues. De plus les symptômes des diverses maladies sont souvent très voisins.

Citons :

— le jaunissement mortel (dû à un mycoplasme),
— la maladie de Kaïncopé (dû à un mycoplasme),
— la maladie bronzée,
— la maladie des racines de Travancore,
— le Cadang-Cadang,
— l'anneau rouge (dû à un nématode),
— le Phytophthora (dû à un champignon).

Toutes ces maladies ne guérissent que très rarement et aucun moyen de lutte efficace n'est connu pour la plupart d'entre elles.

(1) Page 177, « Le Cocotier », op. cit.

6. TECHNOLOGIE (1) (2)

6.1. Les produits du cocotier et leur utilisation

6.1.1. LES PRODUITS A BASE DE CORPS GRAS ET CEUX QUI EN SONT ISSUS

On distingue :

— **l'albumen frais de la noix**, consommé la plupart du temps sur place, mais aussi comme friandise dans les pays importateurs ;

— **l'albumen séché ou coprah**. Le taux d'humidité du coprah doit être ramené, avant stockage, aux environs de 6 % ;

— **l'huile de coco** (ou de coprah). « Elle présente un très grand intérêt pour l'industrie de la savonnerie, en raison notamment de sa teneur en acide laurique, qui donne au savon de bonnes propriétés moussantes », « mais l'utilisation principale de l'huile de coco est alimentaire (fabrication de margarines et graisses végétales) » ;

— **le tourteau de coprah**. « On peut trouver, selon le procédé utilisé pour la production de l'huile, des tourteaux de pression continue et ceux d'extraction par solvant » (3).

Ils sont appréciés pour l'alimentation du bétail ;

— **le lait de coco**, qui est extrait de l'albumen frais par pression, a une composition voisine de celle du lait de vache ;

— **le coco rapé**, qui est identique au coprah, mais avec un taux d'humidité moindre (3 %). Il sert en pâtisserie et en biscuiterie.

6.1.2. LES PRODUITS FIBREUX DE LA NOIX

« L'enveloppe de la noix de coco renferme des fibres (ou coïr) de diverses longueurs qu'il est intéressant d'extraire et d'exploiter, notamment en les filant et en tissant les fils obtenus en vue de fabriquer des articles de sparterie (nattes, tapis, sacs...) et des cordages » (4).

« Ces fibres ont, en raison de leur imputrescibilité et de leurs qualités d'isolant phonique, d'autres utilisations (rembourrages etc.) (5).

6.1.3. LES PRODUITS DIVERS

— **la coque de la noix**

« Par carbonisation, on obtient un charbon qui, après activation, est un absorbant » (6).

« Broyée finement, la coque est employée dans l'industrie des poudres à mouler phénoplastes et dans celle du linoléum » (6) ;

— **l'eau de coco**

« L'eau de la noix de coco fraîche constitue un breuvage rafraîchissant » (6) ;

— **les produits issus de la sève de l'inflorescence**

---

(1) Résumé du Livre « Le Cocotier » (op. cit.) Chapitre XII, pages 197 et suivantes.
(2) FAO « Les produits du cocotier ». 1975.
(3) Page 101, « Le Cocotier », op. cit.
(4) Page 203, « Le Cocotier », op. cit.
(5) Page 204, « Le Cocotier », op. cit.
(6) Pages 204-205, « Le Cocotier », op. cit.

« La sève peut être utilisée pour la préparation de sirop (toddy syrup ou treacle), de sucre brut (jaggery ou gur) ou cristallisé, de boissons fermentées, d'alcool distillé (arrack) ou de vinaigre » (1).

6.2. Préparation du coprah

Alors que l'entretien et la récolte d'une cocoteraie ne demandent pas beaucoup de main-d'œuvre (7 ha par UTA) la préparation du coprah exige beaucoup de travail : enlèvement de la fibre (pieu de défibrage ou machine) et ouverture de la coque en 2 ou 3 parties par percussion.

Le séchage est obtenu soit pas des méthodes artisanales avec ou sans préséchage au soleil puis 4 jours en séchoir (1 jour à 40° C, 2 jours à 60° C, 1 jour à 50° C), soit par des méthodes industrielles avec des fours à grand débit (3 t en 24 h).

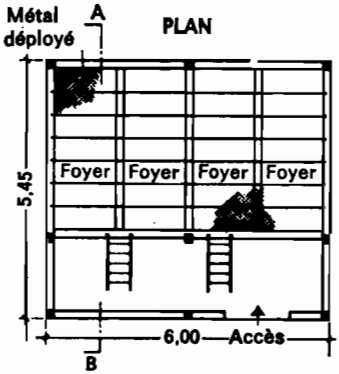
La préparation (type four « Ceylan ») peut se résumer ainsi :

Noix de coco

— défibrage →	noix sans enveloppes.
— cassage →	moitiés de noix défibrées.
— pré-séchage →	moitié de noix pré-séchées.
— séchage au four →	moitiés de noix séchées.
— extraction →	coprah + demi-coques.
— séchage au four →	coprah sec.
— triage →	coprah sec et propre.
— emballage →	du coprah sec et propre.

Coprah

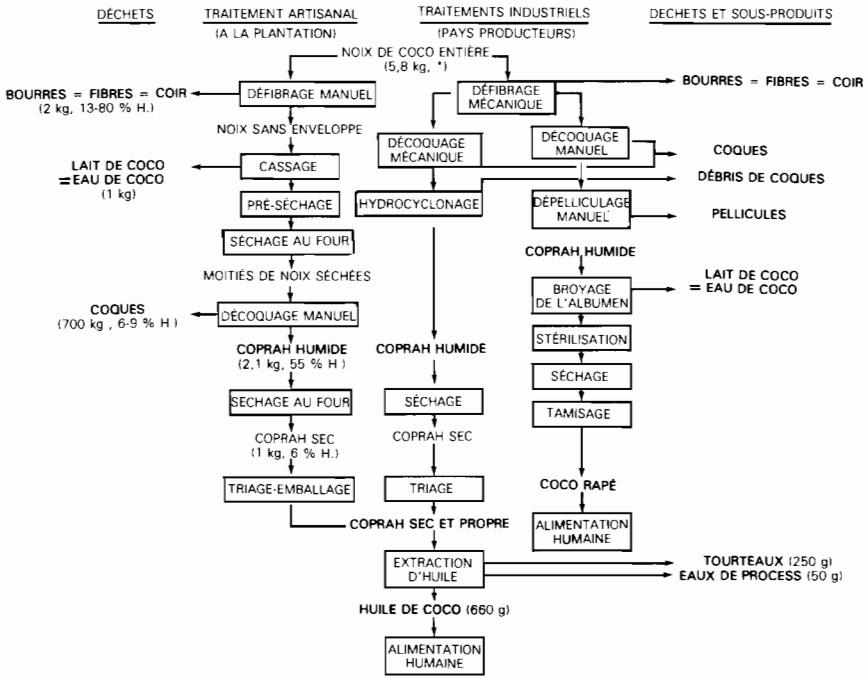
PLAN DE FOUR A COPRAH Modèle « Ceylan » (IRHO - PORT-BOUET)



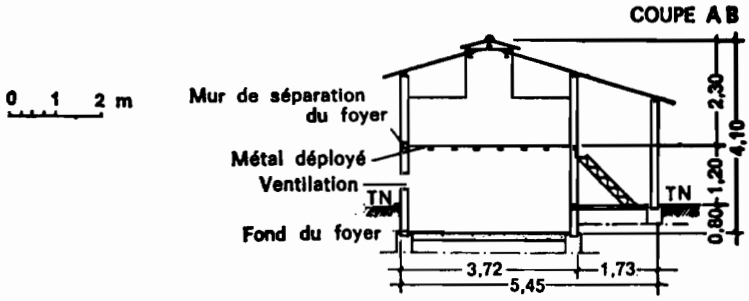
2 éléments à deux foyers :
6 m X 5,45 m dont 3,72 m de foyer et 1,73 m de véranda.
Capacité 7 500 noix par fournée en couche inférieure à 30 cm.
5 jours de séchage avec un pré-séchage d'une journée au soleil.
Combustible : les 3/5 des coques correspondant aux noix traitées suffisent à assurer le séchage du coprah. Les coques sont emboîtées les unes dans les autres, formant une « mèche » qui se consume lentement.

(6) Pages 204-205, « Le Cocotier », op. cit.

COCOTIER
SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



H . Humidité (sur poids total)
* Une noix de coco pèse en moyenne 1,1 kg



6.3. Résultats

— l'amande fraîche et mûre contient, en moyenne, 40 % d'huile 43 % d'eau et 17 % de matières sèches non huileuses ;
— le coprah comprend 65 à 70 % d'huile, 6 % d'humidité, et 24 à 29 % de matières sèches non huileuses (protéines en particulier) ;
— on peut donc extraire de l'huile de coco, soit à partir des amandes fraîches, soit à partir du coprah. A partir des amandes fraîches on obtient de « l'huile vierge » dont les propriétés sont très intéressantes ;
— suivant les variétés de cocotiers il faut de 3,5 à 10 noix pour obtenir 1 kg de coprah (en moyenne 5 à 6) ;
— les enveloppes contiennent en moyenne :
  • 10 à 15 % de fibres longues,
  • 20 à 25 % de fibres courtes,
  • 60 à 70 % de débris végétaux par rapport à leur poids ;
— 1 000 enveloppes fournissent 40 à 65 kg de fibres à brosse, 225 à 230 kg de fibres bonnes à être tissées ou tressées.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (en j t/ha) (1)

Main-d'œuvre nécessaire pour la création d'un hectare de cocoteraie avec incinération totale des bois abattus.

Débroussement	30
Abattage, dessouchage	200
Tronçonnage, incinération	180
Piquetage, trouaison, fertilisation	25
Mise en place des cocotiers	10
Semis couverture	5
	450

(1) D'après « Le Cocotier » par Y. Fremond, R. Ziller, M. de Nuce de Lamothe, page 101, Maisonneuve et Larose, Paris.

7.2. Production Coprah 1986

Continents	Prod. X 1 000 t
Amérique du Nord et centrale	167
Asie	4 611
Afrique	202
Océanie	335
Production mondiale	5 352

Rang prod.	Pays	Prod. X 1 000 t
1	Philippines	2 338
2	Indonésie	1 300
3	Inde	383
4	Sri Lanka	230
5	Mexique	120

Estimation F.A.O. Annuaire de la production. Vol. 40, 1986.

7.3. COMMERCE 1985 (en milliers de tonnes)

Rang	Pays	Importation	Pays	Exportation
1	Japon	84,5	Nelle Guinée	104,5
2	R.F.A.	69,0	Malaisie	55,5
3	Singapour	57,0	Iles Salomon	43,5
4	Malaisie	40,0	Vanuatu	39,0
5	Suède	22,0	Philippines*	36,0

F = estimation FAO * données non officielles

KARITÉ

Sapotacée **Shea butter tree**
Butyrospermum parkii **Arbol Mantequeiro**

1. BUT DE LA CULTURE

L'amande de Karité fournit du beurre qui est le principal produit utilisé sur place et dans l'industrie.

Le beurre de karité, frais et convenablement préparé, a un goût agréable. Il constitue un appoint alimentaire important pour les populations de l'Ouest africain où il est utilisé pour la cuisine essentiellement, mais aussi, en pharmacopée et comme cosmétique.

Dans l'industrie, il sert en savonnerie, en biscuiterie, en parfumerie et pharmacie (il entre dans la fabrication des crèmes de beauté et des pommades).

2. BOTANIQUE

Le karité est un arbre de 10 à 15 m originaire de zone soudanienne.

Il présente un système radiculaire fortement pivotant qui permet les cultures associées sous son abri.

Le fruit est une baie ayant l'aspect d'une grosse prune. Son péricarpe charnu, plus ou moins sucré, est comestible. Il renferme 1 à 3 graines entourées d'une coque mince et cassante. Leurs deux gros cotylédons épais contiennent près de 50 % de matière grasse, qui donne le beurre.

De plus des cellules situées dans les différentes parties du karité, sécrètent un latex.

3. ÉCOLOGIE

Le karité ne pousse que dans le climat soudanien : chute d'eau annuelle de 500 à 1 000 mm ayant son maximum en août ; période sèche de 5 à 8 mois. Il demande des sols équilibrés, sains et bien drainés.

4. CULTURE

Le karité pousse à l'état spontané en savane boisée.

Il s'agit donc d'une production de cueillette. Les densités de peuplement naturel sont d'autant plus fortes que la culture traditionnelle est plus intense, car cette dernière procède par défrichement et non par feux de brousse et ainsi protège certaines essences dont le karité.

Densité moyenne : 15-30 à l'hectare.

Densités fréquentes : 100-150 à l'hectare.

Les essais de plantation industrielle ou de reboisement ont donné des déboires pour les raisons suivantes :

— la faculté germinative des graines est de courte durée ;

— le développement du système aérien est très lent, d'où sensibilité aux rongeurs et feux de brousse.

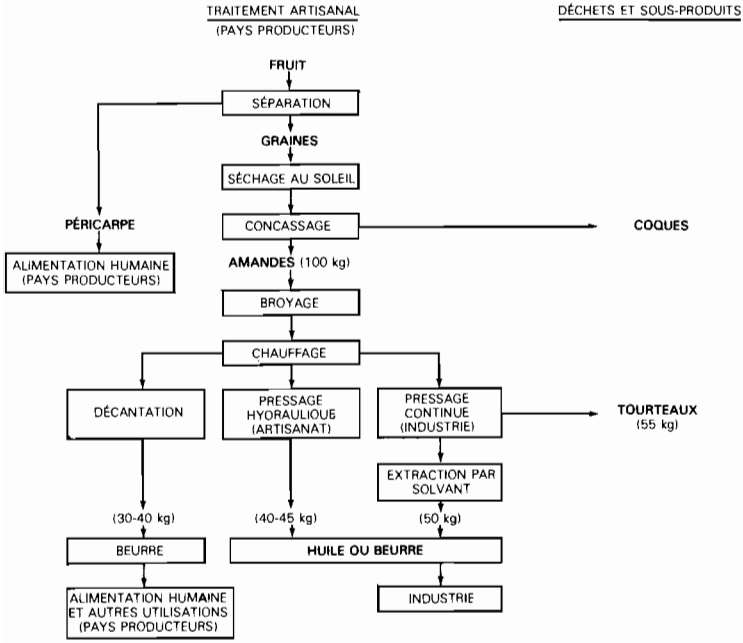
L'entrée en production ne se produit qu'à 20 ans seulement et la pleine production vers 40-50 ans.

Les arbres issus de semis présentent une très grande hétérogénéité morphologique.

La floraison a lieu en saison sèche après la chute des feuilles. Elle dure de 50 à 60 jours. Les fruits mûrissent en cinq mois (150-160 jours).

Production moyenne : 15 à 20 kg de fruits frais par arbre, soit 3 à 4 kg d'amandes sèches commercialisables.

KARITÉ
SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



5. MALADIES ET ENNEMIS

On connaît *Loranthus* » et les chenilles de *Cirina butyrospermi.*

6. TECHNOLOGIE

Préparation et conditionnement

Après séchage, les amandes sont séparées de leur coque, broyées et pressées à chaud (80° C).

— Méthode traditionnelle : 100 kg d'amandes donnent 13 à 15 kg de beurre.

— Méthode artisanale (pressoir hydraulique) : Huile obtenue par pression à chaud ; taux d'extraction : 35 à 40 % du poids des amandes sèches, soit un rendement d'environ 75 %.

— Méthode industrielle :

- Pression mécanique en continu ; taux d'extraction : 42 à 45 %, soit un rendement de 85 à 90 %.
- Extraction par solvant après extraction par pression ; taux d'extraction : 80 %, soit 36 à 40 % du poids des amandes sèches.

PALMIER A HUILE

Palmacée — **Oil palm**
Elaeis guineensis — **Palma de aceite**

1. BUT DE LA CULTURE

Le palmier à huile est un arbre qui est, avant tout, cultivé pour ses fruits dont on extrait des corps gras à usages alimentaires et industriels. Il produit 5 à 7 fois plus d'huile à l'hectare que l'arachide, le soja, etc.

La pulpe du fruit donne l'huile de palme. L'amande des fruits donne l'huile de palmiste.

De plus la sève du palmier à huile, recueillie dans des vases, fermente rapidement et donne du vin de palme (des saignées répétées compromettent évidemment la vitalité de l'arbre). Ses feuilles ont de multiples usages (toitures, clôtures, vannerie, etc).

2. BOTANIQUE

«Il est maintenant admis que *Elaeis guineensis* est d'origine africaine» (1) (le foyer se trouvant vraisemblablement le long du golfe de Guinée, région où l'on trouve encore des palmeraies naturelles spontanées très étendues).

(1) C. Surre, R. Ziller, «Le palmier à huile», Maisonneuve et Larose, Paris, page 10.

2.1. Classification

L'*Elaeis* comprend deux espèces principales qui ont un intérêt sur le plan économique; la plus importante et plus répandue est *Elaeis guineensis* - l'autre; *Elaeis oleifera* - (Noli), se rencontre dans le nord de l'Amérique du Sud, en peuplements spontanés, et présente un intérêt en hybridation avec *Elaeis guineensis*.

La classification des variétés peut se faire principalement suivant trois caractères :

1) la couleur du fruit
— fruit noir avant maturité : variété *Nigrescens* la plus répandue,
— fruit vert avant maturité : variété *Virescens*, peu répandue ;
2) la présence ou l'absence de caroténoïdes dans la pulpe à maturité:
présence : variété commune,
absence : variété *albescens* ;
3) suivant l'épaisseur des coques qui est le critère le plus important :
var. *Macrocaria*, à coque très épaisse pouvant atteindre 6 à 8 mm, sans intérêt économique,
var. *Dura*, coque supérieure à 2 mm,
var. *Pisifera* à fruit dépourvu de coque, variété qui a un taux d'avortement de fruits très élevé, donc sans intérêt économique, mais utilisée en élection.

Il faut y ajouter la variété ***Tenera*** qui est un hybride de D x P. Le croisement D x P donne, en effet, 100 p. 100 de ***tenera***.
La disjonction se fait suivant la loi de Mendel.
Ce sont les ***Tenera*** qui sont les plus intéressants sur le plan économique grâce à leur pourcentage de pulpe élevé.

2.2. Description

2.2.1. SYSTÈME RADICULAIRE

Forme fasciculée typique des monocotylédones. Plusieurs milliers de racines cylindriques partent d'un énorme bulbe ou plateau radiculaire, assurant un ancrage très solide du palmier. Les unes sont courtes (1 m), les autres très longues jusqu'à 15 et 20 mètres. Ces dernières portent seules des racines absorbantes tertiaires ou quaternaires. La majeure partie de ces racines rayonnent horizontalement dans les premiers cinquante centimètres d'épaisseur du sol.

2.2.2. TRONC (APPELÉ STIPE)

Vertical, normalement non ramifié, constitué de fibres enserrant une moelle alimentant le bourgeon végétatif terminal. Il commence à se développer vers 4 ou 6 ans et a une croissance constante de 40 à 60 cm par an pendant toute la vie du palmier, pour atteindre 20 à 25 m de haut.

2.2.3. SYSTÈME FOLIAIRE

Le stipe porte la couronne, panache symétrique de feuilles pennées, implantées en spirale autour du bourgeon végétatif qu'elles protègent. La feuille centrale, non épanouie, verticale, s'appelle la flèche. Le bourgeon végétatif est constitué par l'ensemble de toutes les ébauches foliaires et florales et de toutes

les feuilles en développement ou en activité avec les inflorescences correspondantes. A l'aisselle de chaque feuille se trouve une inflorescence ou un régime.

Il s'écoule 50 mois environ entre l'apparition des ébauches foliaires dans le bourgeon et la mort naturelle de la feuille. Le bourgeon émet 20 à 25 feuilles nouvelles par an; 30 à 40 feuilles de la couronne sont fonctionnelles; les feuilles mesurent 5 à 7 m de long; le pétiole, très fort et épineux dans le premier mètre inférieur, porte 100 à 160 paires de folioles opposées mesurant 100 à 120 cm de long et 4 à 6 cm de large dans le milieu de la feuille.

2.2.4. LES INFLORESCENCES

Le palmier est une plante monoïque à sexes séparés sur le même individu. Fleurs groupées en épis réunis en un très gros spadice, à l'aisselle de chaque feuille. Inflorescence mâle : une centaine d'épis digités portant chacun un millier de très petites fleurs à six périanthères et six étamines. Inflorescences femelles : plus massives comprennent un rachis, portant une centaine d'épis de six à douze fleurs, terminé par une épine. Fleurs petites situées à l'aisselle d'une bractée constituée d'un ovaire à trois stigmates, enduits à maturité d'un liquide gluant fixant le pollen transporté par les insectes.

Les inflorescences mâles et femelles sont portées par le même palmier par cycles alternés d'inflorescences du même sexe.

L'évolution d'une ébauche florale en régime de fruits dure environ 42 mois dont :

- 10 mois de l'ébauche à la sexualisation ;
- 24-26 mois de la sexualisation à la floraison;
- 5-6 mois de la floraison à la récolte.

L'émission des feuilles et des inflorescences associées est continue toute l'année. La sexualisation des ébauches florales, le rythme de développement ou l'avortement des fleurs sont influencés par toute une série de facteurs (eau, température, état sanitaire, fertilisation, enherbement) dont les effets respectifs ou conjugués interviennent tout au long des 2,5 ans précédant la récolte.

2.2.5. RÉGIMES FRUCTIFÈRES

Un rachis, pédoncule fibreux très solide, porte les épis garnis de fruits. L'ensemble forme une masse globuleuse ovoïde plus ou moins hérissée d'épines, de 10 à 50 cm de long, 10 à 35 cm de large d'un poids variant de quelques kg à 60 kg pour une moyenne de 10 à 245 kg en plantations adultes. Un régime porte 800 à 4000 fruits, le plus souvent 1200 à 1500.

2.2.6. LE FRUIT (1)

Le fruit est une drupe sessile ovoïde, longue de 3 à 5 cm. La coupe d'un fruit permet de distinguer, de l'extérieur vers l'intérieur :

— l'épiderme cutinisé, lisse, luisant ;

— le mésocarpe, ou pulpe, jaune ou orangé, très huileux. La pulpe, dont l'épaisseur varie de 2 à 10 mm, renferme de 45 à 50% de son poids frais d'huile de palme ;

— l'endocarpe (ou coque) sclérifié, très dur, noir, de 0,5 mm à 4-5 mm d'épaisseur avec, à l'extérieur, des côtes longitudinales (fibres adhérentes).

(1) Les paragraphes 2.2.6. et 2.2.7. sont des extraits du livre «Le palmier à huile» (op. cit.).

A l'intérieur de la coque se trouve l'amande; l'ensemble amande + coque constitue la graine ou noix de palme. L'amande constitue le palmiste.

2.2.7. LA GRAINE (1)

Les dimensions et le poids de la graine varient suivant l'origine des arbres, mais aussi dans un même régime. Une graine *tenera* pèse de 1 à 2 g et une graine *dura* de 4 à 6 g. Il y a généralement une amande par fruit. L'amande, de forme plus ou moins ovoïde, occupe toute la cavité de l'endocarpe.

La structure de l'amande est la suivante :

— un tégument très mince et très adhérent, blanchâtre ou jaunâtre, devenant noirâtre en séchant;
— un albumen cartilagineux, très huileux, creusé au centre d'une longue fente; il fournit l'huile de palmiste;
— un embryon linéaire de 4-5 mm.

2.2.8. SÉLECTION

Les programmes de sélection variétale de l'*Elaeis guineensis* ont eu pour objectif prioritaire l'augmentation de la productivité. Depuis 1922, les résultats enregistrés en Côte d'Ivoire ont été les suivants :

	Tonnes régimes ha/an	Taux extraction huile/ régime (1)	Tonnes huile ha/an
Palmeraie naturelle	3	9	0,3
Palmeraie naturelle aménagée	7	11	0,8
Croisement au sein d'une souche (1950)	12,5	15	1,9
Croisement *Dura* x *Pisifera* entre souches (1958)	15	20	3,0
Croisement *Dura* x *Pisifera* entre souches (1968)	16	22,4	3,6
Meilleurs croisements (2) (1985)			4,5

A partir de ces dernières années, les travaux portent sur l'amélioration des qualités alimentaires. A l'intérieur du matériel *guineensis*, la sélection augmente dès à présent de 8 à 12 p. 100 le taux de la fraction liquide de l'huile (acides insaturés). Par hybridation avec l'espèce spontanée sud-américaine *Elaeis oleifera* ce taux est encore amélioré.

La multiplication végétative en cours de vulgarisation pourra permettre une amélioration des rendements en huile par hectare de 15 à 20%.

(1) Taux industriel d'extraction.

(2) En excellentes conditions écologiques (Amérique latine, Asie) ce matériel végétal produit de 35 à 40 t de régimes/ha/an, soit 7,8 à 9 t d'huile/ha/an.

3. ÉCOLOGIE

Le palmier à huile est une plante de soleil et d'eau à croissance continue, qui requiert donc des conditions climatiques aussi constantes que possible tout au long de l'année. Tout écart par rapport aux conditions optimales entraîne une baisse de production.

3.1. Insolation optimale

2 000 h. par an, soit une moyenne mensuelle de 165 h.

3.2. Pluviométrie optimale

1 800 mm par an soit une moyenne mensuelle de 150 mm.

3.3. Hygrométrie

L'humidité moyenne relative mensuelle doit être supérieure à 75%.

3.4 Température

La température annuelle moyenne la plus favorable est de 26° C avec des moyennes mensuelles des minima supérieures à 18° C, pour les mois les plus froids, ce qui exclut les cultures d'altitude.

3.5. Influence sur la production

Toute saison sèche de plus d'un mois entraîne une baisse de production proportionnelle à la sévérité de la saison sèche et à sa durée ce qui explique que les productions d'un même matériel végétal peuvent varier de 8 à 40 t de régimes par hectare, suivant les conditions de pluviométrie et d'insolation. Il faut donc tenir compte de ces facteurs.

Ces conditions écologiques limitent entre les parallèles 10° Nord et Sud les zones favorables à la rentabilité de la culture du palmier, sauf situations insulaires particulières.

3.6. Sols

Le palmier à huile est assez plastique au point de vue des sols et plus exigeant sur leur qualité physique que sur leur richesse en matières minérales, étant donné le volume de terre que l'importance de son système radiculaire lui permet d'exploiter. Il demande des sols profonds, meubles, perméables, à bon pouvoir de rétention en eau; il s'accommode fort mal d'un horizon compact (cuirasse, lit gravillonnaire ou argileux) à faible profondeur. Il ne supporte pas les sols à engorgement prolongé mais peut supporter des inondations temporaires si le sol est rapidement drainé; il apprécie les nappes phréatiques relativement profondes. Le palmier à huile donne des productions d'autant plus élevées que le sol est plus riche en humus et matières minérales; dans les sols pauvres il est surtout sensible aux équilibres des éléments :

C/N voisin de 10 dans l'horizon supérieur; teneur minimale en potassium échangeable de l'ordre de 0,15-0,20 Me %, qui peut être corrigée au besoin par des apports de potassium.

Indifférence aux teneurs en Ca et Mg échangeables, pourvu que les rapports Mg/K et Ca/K soient égaux ou supérieurs à 2.

La carence phosphatée ne se manifeste qu'au-dessous de 0,3-0,5 ‰.

Il préfère les sols à pH voisins de la neutralité mais supporte l'acidité jusqu'à pH 4,5.

4. CULTURE

4.1. Multiplication

Ne doivent être utilisées que des semences issues de fécondation artificielle entre palmiers sélectionnés de souches différentes ou des clones. Ces semences et clones sont fournis par des organismes spécialisés (I.R.H.O.) et proviennent de croisements de D x P donnant 100 p. 100 de plants Tenera (cf. 2-1).

4.1.1. SEMIS

Compte tenu des pertes et éliminations inévitables à tous les stades, il faut prévoir, pour planter 1 hectare (à raison de 143 arbres par hectare), 270 graines : germination supérieure à 85 p. 100 donnant 230 graines germées à repiquer en prépépinière dont, après sélection, on peut obtenir 190 plantules donnant en pépinière, après nouvelle sélection, 150 plants utiles. Avec les clones, il faut compter 250 vitroplants à l'hectare.

4.1.2. GERMOIRS

Dans le cas des graines la germination s'effectue en deux phases :

— la levée de la dormance des graines par chauffage à humidité réduite (entre 17 et 19% d'humidité sur poids frais d'amande);

— le développement des embryons par la mise à température ambiante des graines fortement réhydratées (entre 23 et 25% d'humidité sur poids frais d'amande).

La méthode la plus simple est la germination en sacs de plastique par chaleur sèche qui se conduit ainsi :

— réhumidification partielle des graines : trempage 7 jours dans une eau à température ambiante (± 25°C) renouvelée tous les jours;

— ressuyage léger à l'air, pour obtenir une teinte noire mate des noix;

— chauffage pendant 60 à 80 jours dans des germoirs isothermes (chaudière ou électricité).

Les graines sont mises dans des sacs de polyéthylène transparent de 20/100e de mm d'épaisseur ; de 50 cm de large x 65 cm de haut ; pour 600 à 1 000 graines — Fermeture hermétique des sacs (pliure en accordéon) ; ménager dans les sacs un volume d'air suffisant.

Ouverture des sacs une fois par semaine pour l'aération pendant 1/2 heure.

Après la période de chauffage, réhydratation des graines par trempage pendant 3 jours, suivie d'un léger ressuyage.

Maintien des sacs hermétiquement fermés à température ambiante 25/27° C

— Triage hebdomadaire avec sortie des graines germées.

A noter que les stations productrices peuvent expédier des graines préchauffées ou germées si les liaisons aériennes sont assez rapides.

4.1.3. PRÉPÉPINIÈRES

Uniquement en sacs de polyéthylène de 50 microns d'épaisseur : sachets

pliés, avec soufflets, de 10 cm de large et 22 cm de haut. Ne repiquer que des graines à germes différenciés. Les sachets sont remplis de terreau forestier tamisé (2 l par sac) - Désinfection du terreau au cryptonol. Les graines sont recouvertes d'un ou deux centimètres de terre, en veillant à ce que la radicule soit bien orientée. Les sacs sont mis côte à côte sur une bande de 2,20 m de large. Les planches doivent être ombragées et régulièrement arrosées.

Apport d'engrais en solution. Lorsque les plantules ont 4 feuilles (après quatre mois) elles doivent être repiquées en pépinière. Les pertes et sélections en prépépinière ne doivent pas dépasser 15 p. 100.

4.1.4. PÉPINIÈRES

En sacs de polyéthylène noir de 20/100e de mm d'épaisseur, de 40 x 40 cm; la partie inférieure est percée de 46 trous de 4 à 5 mm de diamètre, disposés en trois rangées parallèles et distants de 5 cm. Sacs remplis de terreau humifère superficiel sablo-argileux, pouvant être enrichi de gadoues ou de composts.

Les recherches entreprises au sujet du blast ayant montré que la maladie est transmise par un insecte vecteur (*Jassidae*), l'ancienne technique coûteuse de l'ombrage des pépinières a été remplacée par le traitement chimique à l'aide d'un produit systémique granulé de la famille des Carbamates (Temik), utilisé à raison de 2 g par plant et par mois. Les sacs sont placés à écartement de 60 cm en triangle soit 22 000 plants par hectare de pépinière. L'arrosage est nécessaire pendant toutes les périodes sèches : prévoir 1/4 de litre par jour et par plant et augmenter progressivement jusqu'à 2,5 litres. Durée normale des pépinières sept à huit mois afin d'avoir des plants ayant 18 cm de circonférence au collet pour la mise en place.

Prévoir une fumure de fond N, P, K, Mg et une fumure d'entretien mensuelle, par exemple 5 à 10 g d'urée et 5 g de kiésérite.

Une sélection sévère doit être faite en fin de pépinière pour éliminer les plants chétifs ou mal conformés. Cette sélection peut atteindre 25 p. 100 des plants (inclus les cas de mortalité).

Les prépépinières et les pépinières en sacs suppriment tout choc de transplantation et assurent une croissance plus rapide des plants.

Il faut bien planifier les travaux pour disposer de plants de taille optimum à la mise en place au début de la saison des pluies. Il faut compter quatre mois de germoir, quatre mois de prépépinière et sept à huit mois de pépinière, soit au total quinze à seize mois. Sur la côte d'Afrique, il faut donc mettre en germoir début février pour planter début mai de l'année suivante. Dans certaines conditions de climat, de coût de main-d'œuvre ou de modifications de programmes, on peut réaliser des pépinières directes, c'est-à-dire supprimer le stade prépépinière en repiquant directement la graine germée dans les grands sacs de plastique.

4.2. Plantation

4.2.1. PRÉPARATION DU TERRAIN

Meilleure densité de plantation : 143 pieds à l'hectare, disposés en triangle équilatéral de 9 m de côté, soit 7,80 m entre les lignes (orientées nord-sud); 9 m entre palmiers sur chaque ligne.

Dans les blocs de plantation doivent être ménagées des routes de desserte

en fonction essentiellement de la récolte des régimes et pour limiter les distances de portage manuel. Prévoir, pour des parcelles carrées de 100 ha, une route principale nord-sud tous les km, et 4 routes intermédiaires est-ouest (soit une route tous les 250 m).

La plantation est habituellement établie sur sol forestier après abattage et dessouchage partiel ou total de la forêt. Les arbres abattus ou dessouchés sont rassemblés en andains pour dégager les lignes de plantation et permettre ultérieurement les travaux mécanisés entre les lignes (rabattage de la couverture, épandage d'engrais, etc.). Ces façons exigent que l'on effectue les opérations dans l'ordre chronologique suivant :

— piquetage préliminaire et précis du réseau routier,
— abattage du sous-bois,
— ouverture des routes avec dessouchage total,
— piquetage des têtes de lignes de plantation,
— abattage des arbres avec dessouchage sur les lignes et interlignes ne comportant pas d'andain,
— andainage des bois, 1 interligne sur 2,
— piquetage des lignes et semis légumineuses de couverture (*pueraria, centrosema*) à raison de 6 à 10 kg/ha.
— trouaison préliminaire : fosses de 60 x 60 x 60 cm rebouchées immédiatement avec de la terre de surface (si la structure du sol et si la texture le justifient).

4.2.2. MISE EN PLACE DES PALMIERS

Cette mise en place doit être faite dans les pays où les saisons sèches sont assez marquées, au début de la grande saison des pluies, lorsque la terre est déjà bien mouillée et qu'on est assuré de profiter de plusieurs mois de bonne pluviométrie après plantation. Les mises en place en petite saison des pluies sont donc à proscrire.

Les plants doivent être mis en place définitive aussitôt après leur sortie de pépinière.

Les trous de plantation sont ouverts à la dimensions exacte du sac (ou de la motte).

Le plant doit être mis en terre bien verticalement, le collet étant rigoureusement au niveau du sol après tassement de la terre autour de la motte de transplantation.

Protéger les plants contre les rats par des grillages enterrés. En cas d'attaque, compléter par des appâts empoisonnés.

Un paillage est disposé au pied de chaque plant sur 1 mètre de diamètre, pour éviter une dessiccation brutale éventuelle du sol.

Une fumure est appliquée dans le rond jusqu'à l'aplomb de l'extrémité des feuilles.

La mise en place des plants doit être particulièrement bien faite, car elle conditionne tout l'avenir et la rentabilité de la plantation.

4.3. Entretien

On commence par remplacer les manquants, s'il y a lieu. Ensuite l'entretien annuel des jeunes cultures comprend :

— le sarclage des ronds sur 1,5 à 2 m de rayon autour du pied se fait manuellement à raison de 6 à 8 passages la première année, puis 6 à 4 par la suite. On peut maintenant utiliser le désherbage chimique au jeune âge de la façon suivante :
  • de 1 à 3 ans d'âge, 2 traitements par an d'Amétryne ou de Diuron,
  • de 3 à 6 ans, 2 ou 3 passages par an de Cyanatrine ou d'Atrazine,
  • à partir de 6 ans, on utilise fréquemment le Paraquat, le MSMA, le Glyphosate;
— l'entretien de l'interligne : 2 à 3 rabattages par an, une fois la couverture bien installée; sarclage sélectif;
— la toilette et l'élagage à la mise en récolte. On laisse 2 palmes sous le régime mûr. Au jeune âge ne couper que les feuilles sèches.

Lorsque les arbres sont adultes, l'entretien des interlignes peut se faire mécaniquement. On utilise suivant les situations des charrues landaises, des rouleaux débroussailleurs ou des billes de bois traînées par un tracteur : 10 à 25 ha/journée de tracteur 35/45 ch suivant l'outil utilisé.

4.4. Fumure

La récolte exporte surtout de l'azote et de la potasse. Pour 15 t de régime on estime les besoins à 70 kg de N, 70 kg de K, 10 kg de P, 10 kg de Ca et 10 kg de Mg.

Le diagnostic foliaire permet de suivre la nutrition des arbres et d'en déduire les fumures nécessaires. Les prélèvements se font en début de saison sèche, entre 7 et 11 heures, sur la feuille de rang 17 (tiers inférieur du rachis à 45° avec stipe) et sur 25 palmiers par échantillon (pour 25 à 100 ha suivant l'homogénéité). Pour les jeunes arbres âgés de moins de 20 mois, le prélèvement se fait sur la feuille de rang 9.

Niveaux critiques	N	2,50 % de matière sèche
Pour la 17e feuille	P	0,16 % de matière sèche - (lié à N)
	K	1,00 % de matière sèche
	Ca	0,60 % de matière sèche
	Mg	0,20 % de matière sèche
	U	0,60 % de matière sèche

Les besoins en azote diminuent avec l'âge, au contraire de la potasse. En Côte d'Ivoire on applique les doses suivantes en kg/pied :

		Sulfate d'ammoniaque		K Cl		Kieserite
		savane	forêt	savane	forêt	savane
A la plantation	N° 0	0,500	0,250	0,250	0	0,060
Année suivante	N° 1	0,750	0,500	0,500	0	0,120
—	N° 2	1,000	0	0,750	0,500	0
—	N° 3	0	0	1,000	0,750	0
—	N° 4	0	0	1,250	1 à 2	0

Les engrais doivent être appliqués en fin des grandes saisons des pluies.

4.5. Techniques particulières

— Ablation des inflorescences, castration, pour améliorer les premières récoltes.
— Pollinisation assistée, parfois nécessaire.
— Irrigation.

4.6. Production

Suivant les conditions écologiques, les palmiers commencent à produire entre deux et cinq ans; ils sont adultes quatre à six ans plus tard. Pendant cette période, la production s'accroît avec des régimes plus gros mais moins nombreux. La production peut atteindre 40 t de régimes par hectare et par an dans les meilleures conditions ; cela correspond à plus de 9 t d'huile de palme puisqu'avec les sélections actuelles on obtient, en traitement industriel, des taux d'extraction de 21 à 23 p. 100 d'huile de palme sur régime.

4.7. Récolte

La maturité des fruits d'un même régime s'échelonne sur quinze jours. Les fruits détachés s'acidifient rapidement donc compromis nécessaire entre bonne maturité (5 à 10 fruits détachés spontanément) et faible acidité.

Fréquence des tours de récolte : 8 à 15 jours suivant production.

Suivant l'âge, récolte aux ciseaux, à la machette, à la faucille, soit à partir du sol, soit après grimpage.

La rémunération des récolteurs aux pièces doit tenir compte de la qualité (maturité), de l'effort fourni et de la surface visitée. Les régimes verts ne sont pas payés, les fruits détachés doivent être soigneusement ramassés.

5. ENNEMIS ET MALADIES

CHAMPIGNONS ET DIVERS

Parasites	Effet	Méthode de lutte
Fusariose (Wilt)	Dessèchement des feuilles à partir des plus vieilles	Sélection
Ganoderma (Stem rot)	Pourriture du tronc	Abattage arbre lutte contre insecte Sufetula
Armillaria	Pourridié	Abattage arbres atteints
Cercosporiose	Moucheture	Traitement Zineb

QUELQUES INSECTES

Âge de l'arbre	Zone attaquée ou sensible	Prédateurs	Effets	Principaux produits ou méthode de lutte
JEUNE ÂGE (De 0 à 4 ans)	FEUILLES	Fourmis	Défoliaison	Perchloirdecone sur les passages
		Chenilles défoliatrices (lépidoptères)	Défoliaison	Aldicarbe - Carbaryl - Trichlorphon
		Coléoptères (*alurnus*)	Attaque de la flèche et jeunes feuilles	Aldicarbe - Endosulfan
	TRONC ET PARASITES DE BLESSURES	*Strategus* (coléoptère)	Attaque plateau radiculaire vers le bourgeon	Heptachlore au pied
		Oryctes (coléoptère)	Attaque de la base des feuilles vers le cœur	Destruction des refuges
		Temnoschoïtes (coléoptère)	Attaque sur blessure ou proximité du bourgeon	Aldicarbe Dimethoate
	RACINES	*Sapalassa* (lépdidoptère) *Sufetula* (lépidoptère)	Attaque les racines vecteurs de micro-organismes et champignons parasites	Heptachlore au pied de l'arbre

Âge de l'arbre	Zone attaquée ou sensible	Prédateurs	Effets	Principaux produits ou méthode de lutte
ÂGE ADULTE	FEUILLES	Chenilles diverses (lépidoptères)	Défoliaison	Trichlorphon - Carbaryl Phosphamidon
		Coléoptères (alurnus)	Attaque de flèche et jeunes feuilles	Dioxacarbe
		Acariens	Piqûres des feuilles vecteurs de champignons parasites	Soufre mouillable
		Larves mineuses (*coelaenomenodera coléoptère*)	Galeries larvaires dans les feuilles	Prathlon - Azinphos - Diclorvos Evisec Préférable Monocrotophos en injection ou absorption racinaire
		Fourmis défoliatrices	Défoliaison	Perchloredecone sur les passages
	TRONC ET CŒUR	Rhyncophore (coléoptère)	Larves attaquent le bourgeon	Eviter les blessures Infection Dimethoate
	RACINES	*Sagalassa* (lépidoptère) *Sufetula* (lépidoptère)	Attaques des racines vecteurs de micro-organismes et champignons parasites	Endosulfan
		Castina (lépidoptère)	Perfore rachis et pédoncules	Dichlorfon

6. TECHNOLOGIE

La pulpe et l'amande du fruit du palmier à huile contiennent de l'huile.

— la pulpe qui renferme 40 à 55% de son poids en huile donnera de **l'huile de palme.**

— l'amande qui renferme 48 à 52% de son poids en huile donnera de **l'huile de palmiste.**

6.1. L'huile de palme

L'huile de palme doit être produite aussi près que possible des lieux de récolte. Sa qualité, en effet, dépend de la rapidité avec laquelle les régimes sont traités en huilerie après la récolte.

La suite des opérations est donnée par le diagramme ci-contre.

L'huile de palme est caractérisée par sa forte teneur en acide palmitique. Elle est presque uniquement utilisée pour l'alimentation et de moins en moins en savonnerie. On peut séparer les parties fluides et concrètes.

Comme autres utilisations il convient de signaler son emploi dans les opérations de laminage à froid des tôles minces en sidérurgie et d'étamage à froid.

6.2. Le palmiste

Est le nom commercial de l'amande séchée.

Noix de palme

— concassage → amandes + débris de coque
— séparation → amandes
— séchage → palmistes
— ensachage

Palmiste

6.3. Huile de palmiste

Les palmistes sont traités dans des huileries implantées soit dans les pays producteurs, soit dans les pays importateurs, suivant les débouchés offerts pour le tourteau.

Cette huile est particulièrement riche en acide laurique, comme celle de coprah. Ses principaux débouchés après raffinage sont l'alimentation et la savonnerie car elle permet l'obtention de produits moussants.

6.4. Rendement à l'usinage

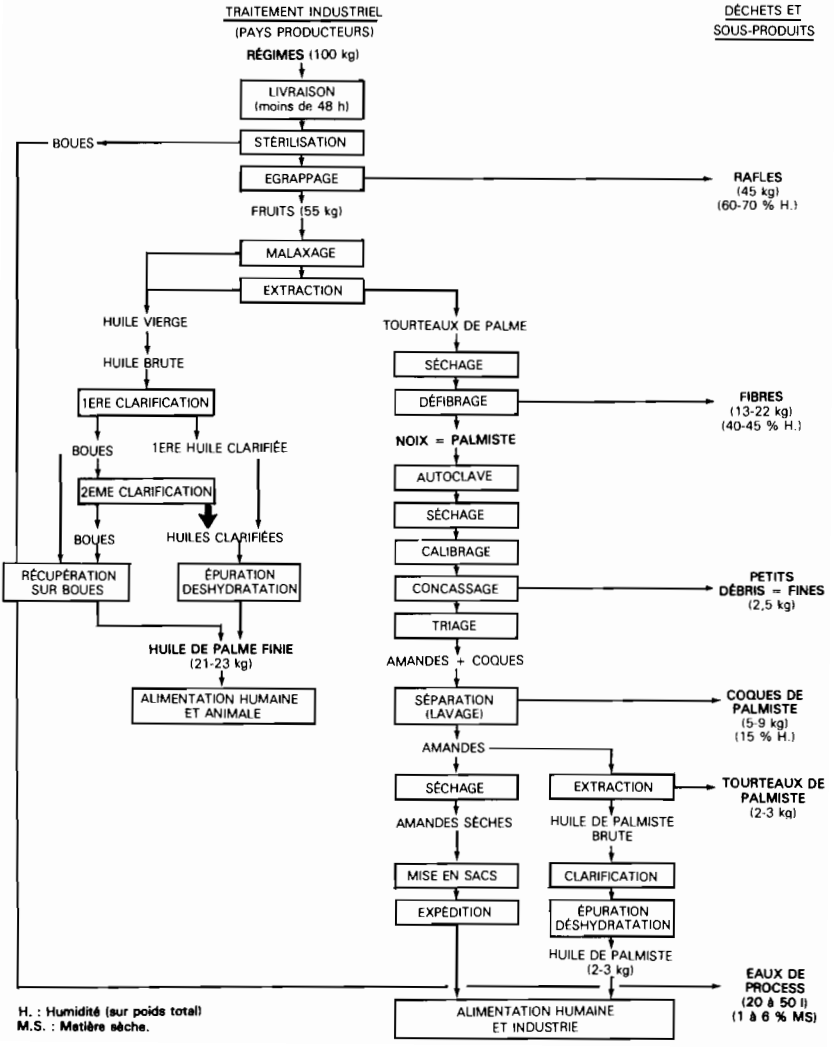
15 t de régimes à l'ha en conditions moyennes donnent près de 3,5 t d'huile à l'ha qui se répartissent ainsi :

— 3 000 à 3 300 kg d'huile de palme,

— 300 kg d'huile de palmiste.

Autrement dit, 100 kg de régime donnent 21 à 23 kg d'huile de palme et 2,00 kg d'huile de palmiste environ.

PALMIER A HUILE
SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (en j.t/ha)

En grande plantation industrielle, les travaux d'abattage, de dessouchage ou d'arasage et d'andainage sont souvent exécutés avec des engins de très grande puissance (angle dozer, tree dozer, tree crusher, etc.). Les temps de travaux moyens actuellement obtenus dans le monde dans les divers domaines sont les suivants:

Pour 1 hectare de palmier planté

	Nombre journées M.O.	Nombres d'heures de tracteur			
		300 CV	200 CV	100 CV	60/80 CV
Elevage du matériel végétal (germoir, prépépinière, pépinière)	34				6
Préparation des terres (du défrichement au semis de *pueraria*)	60	12	2		
Plantation	12				3
Entretien 1re année	15				2
» 2e année	25			1	3
» 3e année	20				3
Entretien annuel	24				4
Entretien chimique	11				5
Récolte 1re année	15				3
» 2e année	20				4
» 3e année	24				5
» 4e année et suivantes	26				5

7.2. Production

Huile de palme

Continents	1968 Prod. x 1000 t	1975 Prod. x 1000 t	1986 Prod. x 1000 t
Amérique latine	48,3	115,0	375,8
Asie	465,7	1 667,0	6 204,4
Afrique	909,9	1 104,0	1 496,7
Autres pays	16,6	69,0	150,0
Total mondial	1 440,5	2 955,0	8 226,9

Évolution de la production

Rang	Pays	1972 Prod. x 1000 t	Rang	Pays	1975 Prod. x 1000 t	1986 Prod x 1000 t
1	Malaisie	660	1	Malaisie	1 135	4 542
2	Nigeria	650	2	Nigeria	450	760
3	Indonésie	269	3	Indonésie	411	1 298
4	Zaïre	180	4	Côte d'Ivoire	154	180
5	Côte d'Ivoire	81	5	Zaïre	138	160

7.3. Commerce. Huile de palme. Exportation (en 1000 t)

Pays	1972	1975	1986
Malaisie	622	1 034	4 305
Indonésie	245	386	683
Zaïre		53	4
Côte d'Ivoire	—	114	100 ?

RICIN

Euphorbiacée — **Castor bean**
Ricinus communis — **Ricine**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le ricin est surtout cultivé pour ses graines qui contiennent de l'huile.

L'huile de ricin a de très nombreux usages industriels :

Elle entre dans la préparation de nombreux **produits pharmaceutiques** : purgatifs, confection de baumes, de gelées, etc. ;

Elle est utilisée dans **l'industrie textile** : ensimage des laines, dégraissage des tissus, comme mouillant, fabrication de tissus imperméables, etc. ;

dans la **savonnerie** : fabrication de savons transparents, de shampooings, etc. ;

dans **l'industrie du cuir** : comme assouplissant, comme détersif, etc. ;

en **papeterie** : comme mouillant, etc. ;

en **sidérurgie** : comme huile de coupe ;

dans la **fabrication des peintures et des vernis** ;

dans la **fabrication de parfums** de synthèse, rouges à lèvres, crèmes de beauté, brillantines, etc. ;

dans la **fabrication d'huiles lubrifiantes** : pour moteur de course, moteurs diesels, réacteurs, etc. ;

elle sert de matière première dans la **fabrication du Rilsan** : matière plastique de grande qualité, fibres textiles, etc. ;

dans des **industries diverses** : isolants, celluloïd, poudres papier carbone, encres, mouillant pour insecticides, acides gras, enzymes, etc. ;
comme **liquide de freins, de vérins hydrauliques**, etc.
L'huile de ricin a également de nombreux usages locaux :
usages **médicaux** : purgatif,
usages **corporels** : pour les cheveux,
graissage : des véhicules et des cuirs,
fabrication d'un **mastic à calfater**, etc.

Les tourteaux ne peuvent pas être directement utilisés dans l'alimentation animale car ils contiennent un produit très toxique : la « ricinine ». Il faut qu'ils subissent au préalable un traitement spécial si on désire les utiliser comme aliment du bétail. On s'en sert surtout comme engrais organique.
Les feuilles peuvent servir de nourriture pour les vers à soie.
Les tiges contiennent des fibres grossières qui servent à confectionner des tissus, des cordes et des filets.
Les fleurs sont très mellifères.

2. BOTANIQUE

2.1. Origine

« Le ricin est originaire d'Abyssinie. Son introduction en Asie et en Inde est cependant fort ancienne. Toutes les populations des régions chaudes et semi-tempérées connaissent son exploitation depuis des temps immémoriaux. » (1)

2.2. Caractères généraux

Le ricin est une plante annuelle ou vivace suivant les espèces.
C'est un arbuste laticifère à grand développement racinaire. Monoïque, ses inflorescences, en grappes, présentent un **pourcentage de fleurs femelles variable**, très réduit pour certaines variétés.
Les capsules sont plus ou moins déhiscentes à maturité, en saison sèche. Ce caractère conditionne l'aptitude de la variété à la culture mécanisée.

2.3. Classification

On distingue :
- Le *ricinus communis* (major et minor)
- Le *ricinus persicus*
- Le *ricinus zanzibarensis*

Leurs caractéristiques sont données par le tableau page suivante.

(1) Van Den Abeele et Vandenput, op. cit. p. 317.

3. ÉCOLOGIE

Le ricin est une plante de zone tropicale ou méditerranéenne, sensible au froid, que l'on peut cultiver en zones présentant 5 à 6 mois de pluies (700 à 1200 mm) avec température élevée (Tm : 28°C). En culture mécanique, une longue saison sèche et chaude (Tm : 30°C), favorable à la maturation, facilite la récolte. De fortes pluies à la floraison provoquent la coulure; une bonne insolation est favorable à cette époque.

Les vents secs et violents sont défavorables.

En climat humide et chaud on constate un grand développement végétatif mais une faible production de graines.

Plante exigeante en ce qui concerne les sols : sablo-limoneux ou argileux, profonds (1,30 m à 1,50 m), pH 6 à 7.

D'une manière générale, ses exigences écologiques sont voisines de celles du maïs.

Les besoins en éléments minéraux sont surtout élevés en début de croissance. Le ricin supporte assez bien le sel.

4. CULTURE

En culture, le ricin est toujours traité comme une plante annuelle.

La préparation du sol est très importante, surtout en sol argileux. Un labour profond avec enfouissement de matières organiques est indispensable.

— **Semis** : en poquets de 3 à 4 graines à 0,15 m x 0,80 m : variétés naines annuelles, pour récolte mécanique : 1,5 m x 1,5 m pour *R. persicus* : 6 à 8 kg de graines/ha; 2 m x 2 m pour 4, *R. zanzibarensis*.
L'entretien est réduit à un ou deux sarclages en début de cycle associés à un démariage au stade 15 cm de haut.

— **Fumure** : à dominante phosphatée apportée au semis ou avant.

Le cycle varie de 150 à 250 jours (aux USA, il existe des types à 90 jours); les rendements, en culture pure, varient de 600 à 1800 kg de graines/ha; cependant en très bonne culture, on peut atteindre et dépasser 4500 kg/ha.

5. MALADIES ET ENNEMIS

Nombreuses maladies (rouille ou *Melampsorella*, *Odium*, *Alternaria*) mais sans grand effet économique. Plusieurs parasites (punaises, *Nezara virdula*, chenilles urticantes) lui sont communs avec le cotonnier.

Argyroploce walbergiana et iule ainsi que *Phycita diaphana* attaquent capsules et graines : lutte par Sevin (carbaryl).

Araignées rouges dans le jeune âge : lutte par des produits à base de diméthoate.

Lutte antiparasite intéressante si on a des ricins à haut rendement.

	R. Communis		*R. persicus*	*R. zanzibarensis*
	minor	major		
Tiges	grêles et très ramifiées	à entre-nœuds longs et moins ramifiées	port en gobelet	fortes
Feuilles	petites, dentelées	moyennes	assez grandes	grandes
Hauteur	1 à 3 m	3 m	3 à 4 m	8 m
Inflorescences (cymes)	coniques	coniques, moins régulières	longues, coniques, compactes	courtes, ellipsoïdes, lâches
Fleurs	nombreuses	moins nombreuses		peu nombreuses
Fruits	petits (12 à 14 mm)	moyens	moyens	gros
Précocité	hâtif	moins hâtif		tardif
Déhiscence	facile	moins facile	moins facile	difficile (8 kg/jour)
Graine : — couleur, forme — poids de 1 graine — % d'amande	 marron clair 0,1 à 0,25 g 68	 gris ; piriforme 0,35 g 73	 marron rouge ; allongée 0,35 à 0,40 g	 dominance blanche ; plate, large 0,80 à 0,90 g
Durée de végétation Variétés sélectionnées	2 ans maximum Sélection en cours à Madagascar	annuel Blackwell - Cimasson Baker	annuel R. 63	pérenne Ouidah 6

6. TECHNOLOGIE

On utilise deux procédés pour l'extraction de l'huile à partir des graines de ricin : par presse hydraulique et par presse continue.

Suite des opérations du procédé par presse hydraulique :

Graines

- triage
- nettoyage → graines propres
- décorticage → amandes + débris de téguments
- froissage → pâte
- chauffage
- premier essorage → *huile de première pression* impure + tourteaux de 1re pression
- chauffage → huile de 1re pression + coagulat
- filtrage → huile de 1re pression pure
- broyage des tourteaux de 1re pression
- 2e pressurage → *huile de 2e pression* + tourteaux
- addition de solvant aux tourteaux → *huile sulfurée* + tourteaux

Huiles

L'huile de 1re pression a un taux d'acidité de 1 à 1,5%; celle de 2e pression atteint 5 à 15%.

Suite des opérations du procédé par presse continue :

Graines

- triage
- nettoyage → graines propres
- pressurage → huile et tourteaux
- chauffage → huile et coagulat
- filtrage → huile pure
- addition de solvant → huile sulfurée

Huiles

Le rendement total huile/graines = 48,5 à 49%

Le rendement tourteaux/graines = 50%

Conditionnement

L'huile de ricin d'abord utilisée surtout pour la pharmacopée dans ses formes courantes (48,5 à 49% d'huile et indice hydroxyle 161-162) a vu ses débouchés grandir pour la fabrication industrielle de produits chimiques (Rilsan) mais elle doit présenter pour cela un indice hydroxyle supérieur, de l'ordre de 165.

Les normes de conditionnement sont les suivantes :

— Récolte de l'année ;
— Pourcentage de corps étrangers inférieur à 2;
— Pourcentage d'acidité inférieur à 1;
— Pourcentage de graines avariées inférieur à 2.

Employée comme engrais, les tourteaux de ricin épuisés aux solvants ont une action plus rapide que les tourteaux obtenus par pression, contenant 5 à 6% d'huile. Très toxiques, ils ne peuvent être utilisés pour l'alimentation du bétail sans traitement spécial préalable.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (en j.t/ha)

Bénin (IRHO 1965, Région de Save). (Rendement de 750 kg/ha)

— arrachage vieux pieds ou recépage des pieds de l'année précédente	1 à 5
— préparation des terres	35
Total préparation	36 à 40
— semis	5
— entretien (3 binages)	56
— récolte	30
— décapsulage main	125
Total global	252 à 256

7.2. Production graines de ricin 1986

Continents	Surf. x 1000 ha	Prod. x 1000 t	Rend. x 100 kg
Amérique Nord et Centrale	11	6	6,30
Amérique du Sud	488	291	5,98
Asie	952	588	6,18
URSS	132	63 F	4,77
Europe	21	9	4,34
Afrique	76	38	5,05
Production mondiale	1 679	996	5,93

Rang	Pays	Surf. x 1000 ha	Prod. x 1000 t	Rend. x 100 kg
1	Inde	640	300	4,69
2	Brésil	456	263	5,75
3	Chine	228 F	200 F	8,77
4	URSS	132 F	63	4,77
5	Thaïlande	39 F	36 F	9,23

7.3. Commerce huile de ricin 1986 (en milliers de tonnes)

Rang	Exportations		Importations	
1	Brésil	95	France	45
2	Inde	54	USA	37
3	Chine	12	Allemagne Fédérale	10

F = estimation FAO

SÉSAME

Pédaliacée **Benniseed**
Sesamum indicum **Anjojoli**

1. BUTS DE LA CULTURE

« Les graines de sésame légèrement grillées sont consommées directement. Après broyage, en mélange avec du sucre, elles sont utilisées dans la pâtisserie et confiserie. Par traitement à froid, on obtient une huile peu aromatique, amère, très stable, directement consommable pour l'alimentation. L'extraction à chaud ou par solvant donne une huile industrielle utilisée en margarinerie, savonnerie et pour la préparation de peintures. Extraite par un alcool, elle trouve usage en pharmacie et dans la préparation d'insecticides. En parfumerie, elle sert d'huile d'enfleurage. Le tourteau résiduaire a une grande valeur pour l'alimentation des vaches laitières ou comme engrais ; il contient quelque 5 à 14 % de graisse et environ 25% de matières protéiques » (1)

2. BOTANIQUE

Le genre *Sesamum*, originaire d'Asie, comprend 36 espèces dont le *S. indicum* qui est une des plus anciennes plantes cultivées pour la production d'huile.

« Plante des pays tropicaux et subtropicaux, le sésame, fait l'objet d'une culture importante en Inde, en Chine, en Turquie ainsi qu'au golfe Persique.

« Le sésame est une plante annuelle. Sa tige à section carrée atteint de 0,60 à 1,50 m de hauteur. Les feuilles sont de forme variable et un même plant présente normalement des feuilles appartenant à différents types. Les fleurs se forment à l'aisselle des feuilles supérieures. Elles sont de couleur blanche, souvent légèrement violacées ou lie de vin. Le fruit est une capsule allongée, de section carrée, à quatre loges, contenant une soixantaine de petites graines oléagineuses ressemblant aux graines de lin (poids de 1000 graines : 2 à 4 g). La classification est basée sur la coloration des graines qui sont blanches ou noires. Les variétés à graines brunes ou fauves sont considérées comme de moindre valeur » (2).

La sélection génétique a été développée par les stations Sud et Centre Américaines (Mexique, Vénézuéla, Colombie) ainsi qu'en Chine, aux Indes et en U.R.S.S. Les caractères recherchés sont : productivité, résistance aux maladies, indéhiscence des capsules. On tend vers des types monotiges à plusieurs capsules par verticelle et à capsule contenant plus de 4 carpelles.

(1) Van Den Abeele et Vandenput, op. cit., page 344.
(2) Van Den Abeele et Vandenput, op. cit., page 342.

3. ÉCOLOGIE

Le sésame est surtout exigeant en température. Une température moyenne de 20° C sans chutes brutales constitue l'optimum.

Une pluviométrie de 250 à 600 mm est suffisante pendant le cycle végétatif qui est court : la floraison a lieu 30 jours après le semis pour les variétés hâtives, et 45 jours après pour les tardives. Total entre semis et récolte : 40 à 70 jours.

Les besoins en eau sont surtout marqués entre semis et nouaison. Les vents sont très nocifs.

Les sols doivent être perméables, peu acides et bien aérés, une forte proportion d'argile est acceptée si le milieu n'est pas asphyxiant.

4. CULTURE

4.1. Semis

De par son cycle très court, le sésame est souvent cultivé en culture dérobée ou associée avec semis au milieu de la saison des pluies pour placer la maturité en saison sèche.

On préconise de fortes densités : 150 000 plants/ha en moyenne, variables suivant les sols et les variétés (0,60 x 0,10 ou même parfois 0,40 x 0,10).

Quantité de semences variable :
1 à 3 kg/ha en culture associée
5 à 20 kg/ha en culture pure.

4.2. Entretien

Il faut supprimer la concurrence des adventices au début de la croissance. Puis la culture occupe bien le sol.

4.3. Fumure

Exportation d'une récolte de 1500 kg/ha :
Azote 45 kg - Phosphore 20 kg - Potasse 10 kg - Calcium 10 kg.

4.4. Récolte

— à la main : avant dessèchement de la plante, à la nouaison des dernières fleurs. Battage au fléau huit jours après la coupe.
— mécanique : à maturité avancée, avec des variétés indéhiscentes.
Rendements de 100 kg/ha à 1500 kg/ha
Moyenne mondiale : 350 kg/ha

5. MALADIES ET ENNEMIS

Le sésame est parasité par de nombreux insectes :

Epilachna chrysomelina	Feuilles, fleurs, capsules	**Poudrage au D.D.T.**
Acherontia lachesis	Chenille des feuilles	
Antigastria catalaunalis	Chenille des feuilles	
Aphis gossypii	Piqures sur racines	
Asphondylia sesami	Ponte dans boutons floraux	
Dégâts de champignons : *Cercospora, Anthracnose*	Sur feuilles	
Corcyra, Tribolium	Dégâts sur grains stockés	Voir traitement des stocks

6. PRÉPARATION ET CONDITIONNEMENT

Le rendement huile/graine est voisin de 50%.
L'extraction industrielle est exécutée en 3 extractions successives :
— 1re à froid donne huile comestible
— 2e à chaud donne huile foncée nécessitant un raffinage
— 3e à chaud donne huile de savonnerie.

SOJA

Papilionacée **Soybean**
Glycine max (L) Merrill **Soja**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le soja, cultivé en Asie depuis un temps immémorial pour la nourriture de l'homme et des animaux, est une légumineuse remarquable par sa grande richesse en azote, en matières grasses et en matières minérales. Ses usages sont multiples.

On le cultive surtout pour ses **graines** :
Les gousses vertes, les graines vertes et les graines germées constituent trois légumes de grande valeur.
Les graines sèches sont utilisées de diverses façons pour l'alimentation humaine : telles quelles, réduites en farine, sous forme de préparations diverses (sauces, soupes, galettes, etc.); sous forme de lait frais ou condensé, sous forme de fromage, sous forme de café, etc.

Les graines de soja contiennent de 18 à 25% de lipides, ce qui est un taux relativement faible. Malgré cela, **l'huile de soja** vient au premier rang mondial de toutes les huiles d'origine végétale. L'huile de soja sert à préparer : des margarines, des graisses végétales, de l'huile de table, des vernis, des peintures, des savons, des laques, de l'encre d'imprimerie, de la glycérine, des lubrifiants, des huiles siccatives, des huiles d'éclairage, etc. Grâce à la lécithine qu'elle contient, l'huile de soja sert à l'extraction de caséine, en confiserie, en chocolaterie, à la fabrication de soyalithe, de celluloïd, de caoutchouc synthétique, de produits imperméables, de linoléums, de fibres textiles : soies et laines artificielles, etc. Grâce à son huile, le soja est une plante miracle qui n'est pas encore assez connue ni utilisée.

Les **tourteaux**, qui sont les résidus d'huilerie, contiennent une grande proportion de protides (35 à 40%) beaucoup de sels minéraux (chaux, potasse, phosphore, fer, etc.) et de vitamines. Par conséquent, le tourteau de soja est un aliment très riche qui est très utilisé dans l'alimentation du bétail.

La **farine déshuilée de soja** entre pour une bonne part dans l'industrie alimentaire : biscuiterie, boulangerie, pâtisserie, pâtes alimentaires, laiterie, fromagerie, aliments pour enfants, aliments de régime (diabétiques), etc.

En outre, le soja est employé pour la fabrication d'explosifs, tandis que sa caséine sert de matière première pour la fabrication de galalithe.

— comme engrais vert

Le soja est également cultivé pur ses **tiges** et ses **feuilles** :

— **comme fourrage** qui possède une excellente valeur nutritive.

Par conséquent, à part ses utilisations industrielles très nombreuses, le soja peut directement servir dans l'alimentation humaine. Grâce à sa remarquable richesse en protides et en lipides et grâce à sa rusticité, le soja est certainement appelé à avoir un avenir important dans les pays où les aliments protéinés font défaut. Les protéines sont purifiées industriellement en vue d'obtenir des protéines texturées, concentrées (ou texturat), isolées (ou isolat) ou filées.

2. BOTANIQUE

Originaire de Chine, le soja comprend de très nombreuses variétés adaptées aux climats les plus divers, depuis le tempéré-froid jusqu'au tropical. L'adoption de sa culture est conditionnée surtout par son photopériodisme. Sous les tropiques, seules les variétés tardives, adaptées aux jours courts, sont utilisables.

On peut distinguer les sojas à graines vertes, jaunes, crème ou noires. Les deux premiers types sont généralement réservés à l'alimentation en Asie.

Certaines variétés ont été sélectionnées dans la zone tropicale et présentent une bonne adaptation : Palmetto (Brésil), Jupiter (U.S.A., Floride), Tropicana (Amérique Centrale), Hernon (Rhodésie), Bilomi et Otootan (Nigéria), Sérene (Vénézuela), la série TGM (249, 253,...) de l'IITA à Ibadan et la série G (5, 21, 115...) de l'I.R.H.O. Niangoloko.

« Le soja est une plante herbacée annuelle dont l'aspect rappelle celui des haricots nains. La plante, qui porte des ramifications nombreuses et un feuillage

épais, atteint de 0,3 à 1 m de hauteur, selon qu'il s'agit d'une variété précoce ou tardive.

« Les feuilles alternes sont trifoliolées et plus ou moins pubescentes.

« Leur forme, leurs dimensions et leur couleur varient suivant les espèces.

« Les fleurs sont disposées en grappes à l'aisselle des feuilles; elles sont très petites, violettes ou blanches. Le fruit est une gousse, verte avant maturité, devenant grise ou brune avec une pilosité plus ou moins noire suivant les variétés. Les gousses déhiscentes,longues de 3 à 11 cm, contiennent le plus fréquemment 2 à 3 graines de forme et de couleur fort variables, suivant les variétés. Le soja comprend un grand nombre de variétés caractérisées par le port et la hauteur des plantes, la forme et la longueur des feuilles, la couleur des fleurs, la forme et la couleur des graines. Les variétés à graines jaunes ou vertes sont, généralement, plus riches en huile que celles à graines foncées » (1).

3. ÉCOLOGIE

Le soja est une plante fragile, qui craint l'excès d'humidité.

Les exigences écologiques du soja sont voisines de celles du maïs. Il accepte toutefois des sols légers. C'est une culture aisément mécanisable : semis, entretien, et même récolte.

On distingue des stades végétatifs et des stades reproductifs.

1) Stades végétatifs

Les stades végétatifs sont déterminés par le comptage du nombre de nœuds de la tige principale en commençant par le nœud des deux feuilles simples qui ont, ou ont eu, une feuille complètement déroulée.

Une feuille est considérée comme complètement déroulée, quand la feuille du nœud située immédiatement au-dessus est suffisamment déroulée de telle façon que les deux bords de chaque foliole ne se touchent pas.

Pour le dernier nœud de la tige principale, la feuille est considérée comme complètement déroulée quand les folioles sont plates et semblables apparemment aux plus vieilles feuilles de la plante.

V1 : 1er nœud — feuilles simples complètement déroulées.
V2 : 2e nœud — feuille composée complètement déroulée.
V3 : 3e nœud — feuille composée complètement déroulée.
Vn : Ne nœud — feuille composée complètement déroulée.

2) Stades reproductifs

R1 : Une fleur à quelques nœuds.
R2 : Fleur à nœud situé immédiatement au-dessous du nœud le plus haut ayant une feuille complètement déroulée.
R3 : Gousse longue de 0,5 cm à un des quatre nœuds les plus hauts ayant une feuille complètement déroulée.
R4 : Gousse longue de 2 cm à un des quatre nœuds les plus hauts ayant une feuille complètement déroulée.

(1) VAN DEN ABEELE et VANDENPUT, page 308, op. cit.

R5 : Graines commençant à se développer sur un des quatre nœuds les plus hauts ayant une feuille complètement déroulée.
R6 : Gousses contenant des graines entièrement développées sur un des quatre nœuds les plus hauts ayant une feuille complètement déroulée.
R7 : Gousses jaunissantes - 50 % des feuilles sont jaunes **maturité physiologique**.
R8 : 95% des gousses sont brunes (ou grises) **maturité de récolte**.

Variétés
Liste de quelques bonnes variétés adaptées au climat tropical :

Nom	Origine	Couleur tégument	Durée de végétation (jours)	Poids 1000 graines (g)	Protéines (%)	Rendement (kg/ha)
S 17	Hybride Yangambi	Noir	105	89	—	1800
Palmetto	Brésil	Jaune	80-90	119	34,4	1750
S 14	Hybride Yangambi	Vert	105	112	—	1675
Otootan	Brésil	Noir	90-95	99	35	1650
Biloxi - Davis	USA	Jaune	100 à 140			2000 à 3500
Hardee	USA	Jaune	100 à 140			
Jupiter	USA	Jaune + vert	110 à 140			

4. CULTURE

4.1. Semences

La faculté germinative du soja diminue plus ou moins rapidement suivant les variétés et les conditions de conservation des semences. L'agriculteur devra en tenir compte et augmenter en conséquence les quantités/ha de semences.

La densité à l'hectare, donc la quantité de semence nécessaire, est liée au développement de la variété utilisée :

— 0,40 x 0,20 m (125 000 plants/ha soit 30 à 35 kg/ha de semence)
— 0,40 x 0,10 m (250 000 plants/ha soit 65 à 70 kg/ha de semence)
— 0,30 x 0,10 m (333 000 plants/ha soit 80 à 90 kg/ha de semence).

Poids de 1000 graines : de 70 g à 140 g.

En culture mécanisée, aux États-Unis, la densité utilisée est beaucoup plus faible :

— 50 à 60 000 plants/ha (écartement de 0,9 à 1 m entre lignes).

Le semis sera fait sur sol bien labouré et affiné.

Au moins pour la première mise en culture d'un champ en soja, il et recommandé d'inoculer à la semence des bactéries spécifiques; il s'agit d'enrober les graines avec un produit contenant des *Rhizobium*, en prenant, toutefois, quelques précautions :

— enrobage à l'abri du soleil,

— semis dès que possible après l'inoculation,
— utilisation d'un *Rhizobium* de bonne qualité.

4.2. Fumure

Le soja, étant une légumineuse, ne réclame pas de fumure azotée. Par contre, des apports d'acide phosphorique sont toujours nécessaires, complétés éventuellement par de la potasse lorsqu'il y a carence en cet élément.

P_2O_5 : 60 kg/ha
K_2O : 50 à 100 kg/ha

4.3. Récolte

Ne pas arracher les plants pour conserver les racines dans le sol.

Les rendements en graines varient de 500 à 1000 kg/ha et peuvent atteindre 3 t avec des techniques parfaites.

5. MALADIES ET ENNEMIS

— Anthracnose du système aérien : variétés résistantes.
— Fusariose des racines et pythium (fonte des semis) : traitement des semences.
— Bactérioses (*Pseudomonas sp.*).
— Viroses (mosaïque) : variétés résistantes.
— Parasites des grains sur pied (bruches) : pulvérisations DDT à la formation de la gousse.

6. TECHNOLOGIE

6.1. Extraction de l'huile

La suite des opérations est la suivante :

Graines

— nettoyage	→ graines propres
— broyage	→ pâte
— chauffage et humidification	→ pâte chaude et humide
— pressurage	→ huile + tourteaux
— raffinage	→ huile pure

Huile

Les gousses de soja renferment 70 à 75 % de graines et 25 à 30 % de cosses.

Dans les huileries modernes, au lieu de presser la pâte, on réalise une extraction continue de l'huile par l'intermédiaire de solvants chimiques.

Avec un équipement moderne, on peut obtenir 18,5 kg d'huile et 81,5 kg de tourteaux à partir de 100 kg de graines.

On peut estimer les rendements en huile d'un hectare de soja à 90-180 kg en culture traditionnelle et à 400-600 kg en culture améliorée.

Dans la pratique, on extrait 15 à 20 % d'huile à partir des graines.

6.2. Lait de soja

Il faut utiliser les grosses graines. Les opérations se succèdent comme suit :

— **Lavage** et **trempage** dans de l'eau pendant une nuit.
— **Broyage** des graines trempées dans un broyeur, en présence de l'eau de trempage, jusqu'à ce que l'on obtienne une crème écumeuse.
— **Cuisson** de la crème écumeuse dans un récipient clos, sur feu doux et pendant 20 minutes environ, jusqu'à ce qu'il se forme une légère couche de crème sur la surface.
— **Filtrage** à travers un linge et mise en bouteilles du lait ainsi obtenu.

Ce lait est de couleur jaunâtre et il a un léger goût de haricot. Il peut être consommé en tant que lait, mais on peut également le transformer en lait concentré, lait en poudre, yoghourts et fromages.

Lait de soja		Lait de vache	
Protéines :	5,7 %	Protéines :	3,5 %
Lipides :	2,4 %	Lipides :	4,0 %
Matières hydrocarbonées :	1,4 %	Matières hydrocarbonées :	5,2 %
Cendres :	0,8 %	Cendres :	0,7 %
Eau :	89,7 %	Eau :	86,6 %

Voici la composition chimique des diverses sortes de fromages réalisables :

Fromages	Eau	Protéines	Lipides	Matières hydro-carbonées	Cendres
Fromage frais	88,11 %	6,29 %	3,38 %	1,64 %	0,58 %
Fromage sec	18,72 %	48,65 %	28,65 %	2,33 %	1,65 %
Fromage frit	57,40 %	21,96 %	18,72 %	0,57 %	1,35 %

6.3. Germes de soja

Ils s'obtiennent en faisant tremper les graines, pendant 24 heures environ, dans l'eau, puis en les étalant en couche mince sur un tissu humide à l'abri de la lumière solaire.

La germination du soja est l'une des méthodes qui permettent de consommer les graines en leur donnant un goût agréable.

L'analyse des germes de soja confirme leur richesse en protéines et en lipides :

— Eau 66,98 %
— Protéines 14,73 %
— Lipides 5,95 %
— Matières hydrocarbonées 4,04 %
— Cendres 3,41 %

Dans la pratique, on trouve sous le nom de germe de Soja ce qui est en réalité des germes de *Phaseolus Avreus.*

6.4. Valeur alimentaire des graines de soja

Le tableau suivant donne la composition moyenne des graines entières ou transformées en farine :

Denrées (100 g)	Calories	Eau	Protides	Lipides	Glucides	Cendres
Graines entières sèches	335	8 %	38 %	18 %	31,3 %	4,7 %
Farine entière, cuticule enlevée	357	8 %	39 %	21 %	27,4 %	4,6 %
Farine particulièrement déshuilée	261	8 %	46 %	5 %	36,2 %	4,8 %

Le soja et ses farines sont de remarquables sources de vitamines B1, B2 et PP. Par contre, ils ne possèdent pas de vitamine C. On peut y remédier par la consommation de germes de soja qui contiennent de la vitamine C à une dose convenable.

Le soja est surtout considéré comme un aliment protidique. C'est donc un aliment de choix pour valoriser les régimes à base de céréales, en particulier, à base de riz.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (en j.t/ha)

Zaïre (culture manuelle : 1200 kg/ha)

— préparation du sol	40
— semis	8
— entretien	49
— transport, battage et vannage	80
— récolte	43
TOTAL GÉNÉRAL	220

7.2. Production — Soja (graines) 1985

Continents	Surf. x 1000 ha	Prod. x 1000 t	Rendt kg/ha
Amérique du Nord et Centrale	25 853	59 099	2 286
Amérique du Sud	14 007	25 746	1 838
Asie	10 675	14 033	1 315
URSS (F)	766	550	718
Europe	600	929	1 549
Afrique	403	365	906
Océanie	64	111	1 734
Total mondial	52 368	100 833	1 925

Rang	Pays	Surf. x 1000	Prod. x 1000 t	Rendt kg/ha
1	USA	24 922	57 114	2 292
2	Brésil	10 153	18 278	1 800
3	Chine (F)	7 376	10 519	1 426
4	Argentine	3 269	6 500	1 988
5	Inde	1 250	1 100	880

7.3. COMMERCE - 1985 - Graines de soja en milliers de tonnes

Rang	Importation		Exportation	
1	Japon	4 909,5	USA	16 946,0
2	Pays-Bas	2 960,0	Brésil	3 495,0
3	R.F.A.	2 890,0	Argentine	2 987,0
4	Espagne	1 956,0	Chine	1 140,0
5	Italie	1 552,0	Paraguay	709,5

F = estimation FAO

TOURNESOL

Composacée **Sun Flower**
Helianthus annuus **Girasol**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le tournesol est principalement cultivé pour ses graines qui contiennent de 22 à 50 % d'huile. La production d'huile de tournesol vient depuis la campagne 71-72 au 2e rang dans le monde après celle du soja et avant celle de l'arachide et du coton.

L'huile de tournesol est excellente et l'on s'en sert comme huile de table, au même titre que l'huile d'arachide ou l'huile d'olive. Elle est même considérée comme un produit diététique et préconisée, à ce titre, pour ses propriétés anticholestérol. On l'utilise également dans diverses industries alimentaires : fabrication de margarines, conserveries, etc. On l'utilise comme matière première pour la fabrication de savons, de vernis, de peintures, d'émaux, d'huile d'éclairage, etc.

Le tourteau est très riche en protides (40%) , en matières grasses (6 à 13%) et en vitamines B. On s'en sert dans l'alimentation du gros bétail. Ce tourteau ne doit pas comporter de coques, sinon il et trop riche en cellulose et il est impropre à la nourriture des porcins et des volailles.

Les petites graines sont couramment employées pour l'alimentation des volailles. On conseille de les mélanger dans la proportion de 1% aux céréales, en vue d'activer la ponte. **Les grosses graines** des variétés pauvres en huile, mais riches en matières albuminoïdes sont consommées comme friandises

après un léger grillage par de nombreuses populations. Elles ont un goût très agréable.

L'amande des graines fournit une farine riche en protéines. Cette «farine de tournesol» est surtout utilisée en diététique infantile et adulte.

Les coques servent de combustible et de matière première pour l'extraction du furfurol.

Le tournesol est parfois cultivé pour ses tiges et ses feuilles qui peuvent servir d'aliment du bétail : soit à l'état frais, soit sous forme d'ensilage. D'autre fois, il est utilisé comme engrais vert. On obtient environ 75 t/ha de matière verte.

Les tiges contiennent des fibres qui peuvent servir à la fabrication de pâte à papier. Une fois sèches, elles peuvent servir de tuteurs ou comme combustible. Les cendres de tiges peuvent servir d'engrais, elles contiennent 25% de potasse, 12% de chaux et une petite quantité de phosphates.

Certains apiculteurs utilisent le tournesol comme plante mellifère : le miel et la cire produits sont d'excellente qualité.

2. BOTANIQUE

Le tournesol serait originaire de l'Amérique septentrionale.

2.1. Description

« Cultivé comme plante annuelle, le tournesol ou grand soleil est bien connu en raison de son héliotropisme.

« La tige érigée d'une hauteur de 3 à 4 m, d'une épaisseur de 2 à 8 cm, porte de grandes feuilles alternes, cordiformes, pétiolées, très velues. Les capitules parfois énormes, d'un diamètre de 15 à 40 cm, suivent le mouvement du soleil, conservant de ce fait la même orientation par rapport à la position de cet astre. Ces capitules portent insérées sur un réceptacle de nombreuses fleurs tubulées, entourées de fleurs ligulées stériles, disposées vers la périphérie du capitule. Les fleurs fertiles, hermaphrodites, sont obligatoirement allogames (protandrie). Le fruit - un akène comprimé latéralement en biseau - à section subtétragonale, d'une longueur de 0,7 à 1,9 cm, d'une largeur de 0,4 à 0,9 cm, d'une épaisseur de 0,2 à 0,6 cm est recouvert d'une enveloppe luisante, ligneuse, aisément fissile et diversement teintée, entourant une amande composée de deux cotylédons oléagineux protégeant l'embryon. Le système radiculaire est pivotant, profond » (1).

2.2. Classification

Le genre *helianthus* renferme une cinquantaine d'espèces environ dont la plupart n'ont qu'un intérêt ornemental. L'espèce *annuus* comprend un très grand nombre de variétés que l'on peut classer en deux grands groupes :

• Les variétés pauvres en huile mais riches en matières amylacées. Les graines sont consommées comme friandises après une légère torréfaction. Ce sont surtout des variétés ornementales.

(1) VAN DEN ABEELE et VANDENPUT, op. cit., page 325.

• Les variétés riches en huile, qui sont les véritables variétés industrielles. Elles n'ont qu'une tige simple, rarement ramifiée. Ce sont surtout les Russes qui ont sélectionné la plupart des variétés actuellement en culture dans le monde. La sélection a porté sur la résistance aux maladies et sur l'augmentation du pourcentage d'huile dans l'amande. La plupart des variétés actuelles ont 25 à 45% de coque et l'amande contient 40 à 65% d'huile. On espère arriver à sélectionner des variétés ayant 20% seulement de coque et une amande contenant 75% d'huile.

3. ÉCOLOGIE

3.1. Température

Le tournesol demande un climat chaud. Sa teneur en huile dépend beaucoup de la quantité de chaleur que reçoit la plante, tout particulièrement durant la phase de maturation des graines.

Il résiste bien au froid (jusqu'à -6 à $-8°$ C).

3.2. Pluviométrie

Le tournesol est moins exigeant en eau que le maïs et plus exigeant que le sorgho. Il demande donc de 500 à 600 mm de pluies, environ, durant son cycle végétatif. Il résiste bien à la sécheresse. Il craint les excès d'humidité.

Les besoins sont surtout importants durant les 50 à 70 jours qui suivent le semis.

3.3. Éclairement

La lumière est absolument indispensable au tournesol pour accomplir convenablement son cycle végétatif.

3.4. Sols

Bien que le tournesol donne de très hauts rendements sur les sols riches, on peut affirmer que cette plante n'est pas exigeante en matières minérales.

Il demande des sols profonds, frais, meubles, bien drainées, argilo-sableux à bonne capacité de rétention d'eau, riches en matière organique et en chaux. Les terres d'alluvions lui conviennent très bien. Il faut éliminer les sols trop pauvres, superficiels et trop humides.

3.5. Altitude

Le tournesol n'est pas sensible à l'altitude. On le trouve en culture depuis le niveau de la mer jusqu'à plus de 1500 m.

4. CULTURE

Le tournesol, surtout cultivé en Europe méridionale et dans le Proche-Orient, est une plante annuelle présentant un cycle de 120 à 150 jours.

Le poids de 1000 graines varie de 50 à 160 g.

4.1. Multiplication

On sème soit en lignes espacées de 80 x 40 cm, à une densité de 30 000 pieds/ha pour la production en graines, soit à la volée à une densité de 60 000 pour la production de fourrage vert.

Les doses respectives de semis sont :
pour une production de graines, de 4 à 6 kg/ha,
pour une production de fourrage, de 10 à 15 kg/ha,
la durée de germination est de 10 à 15 jours.

4.2. Entretien

Un à deux binages sont conseillés.

4.3. Récolte et conservation

La production de graines en conditions moyennes s'élève aux environs de 800 à 1200 kg/ha avec des rendements atteignant 3 t/ha et plus en zone tempérée avec des variétés sélectionnées.

La graine de tournesol ne peut se conserver au-dessus de 9% d'humidité.

Si la récolte dépasse 15% d'humidité, il est préférable de conserver les capitules dans des cribs comparables à ceux utilisés pour le maïs avant de procéder à l'égrenage. Entre 9 et 15% on peut envisager le séchage artificiel.

5. MALADIES ET ENNEMIS

Sclerotina	Fonte des semis	Désinfection des semences aux organo-mercuriques : 300 g par quintal
Vers gris		Traitement du sol
Oiseaux	— sur les graines semées — sur les capitules	Anthraquinone Pas de protection possible

6. TECHNOLOGIE

Les graines de tournesol servent essentiellement à l'extraction de l'huile.

La graine entière se compose de 25 à 45% de coque et de 55 à 75% d'amande. L'amande contient de 40 à 65% de son poids en huile (soit de 22 à 50% par rapport à la graine entière).

Suite des opérations pour l'extraction de l'huile :

Akènes

nettoyage →	akènes propres + impuretés
calibrage →	catégories d'akènes
décorticage →	amandes et écales en mélange
tamisage et ventilation →	amandes + écales
pressurage →	huile + tourteau
extraction par solvant →	huile + tourteau déshuilé
raffinage →	huile pure

mise en bidons ou en bouteilles

Huile

Production mondiale des huiles végétales fluides alimentaires
(en milliers de tonnes)

Huiles	Moyenne 81-83	%	1986	%
Soja	13 390	39,5	14 680	38,0
Tournesol	5 260	15,5	6 640	17,0
Arachides	3 280	10,0	3 430	9,0
Coton	3 340	10,0	3 720	9,5
Colza	4 250	12,5	6 160	16,0
Olive	2 030	6,0	1 670	4,0
Divers (1)	2 240	6,5	2 630	6,5
Total	33 790		38 930	

Source : Rapport et Perspectives sur les produits 1986-87 - FAO
(1) Huiles de maïs, moutarde, son de riz, carthame, sésame.

SOUS-CHAPITRE IX — PLANTES A PARFUM

Badiane
Citronnelle
Citrons (essences de)
(cf. Agrumes)
Eucalyptus
Géranium
Lemongrass
Patchouli
Résines à parfum :
encens, myrrhe, benjoin
Vétiver
Ylang-Ylang

BADIANE

Magnoliacée — **Star Anise**
Illicium verum — **Badian**

La badiane ou Anis étoilé est un arbre d'une dizaine de mètres maximum qui est cultivé essentiellement en Chine.

Les fruits, en forme d'étoile à 8 follicules ligneux fournissent l'essence de badiane.

On commence à récolter à la dixième année de plantation. L'arbre, en plein rapport vers 25 ans, peut donner 50 kg de fruits verts soit 1 kg d'essence.

CITRONNELLE

Graminée
Cymbopogon nardus — **Citronella Grass**
et *Cymbopogon winterianus* — **Cidronela**

« Les essences de citronnelle, qu'il ne faut pas confondre avec les essences de lemon-grass, sont obtenues de la distillation des feuilles » (1) des 2 graminées ci-dessus cultivées essentiellement à Sri Lanka et en Malaisie.

La citronnelle est formée de touffes rhizomateuses, épaisses , de 1 m de hauteur, à feuilles très étroites, à bords coupants.

L'essence renferme du géraniol et du citronellol, tous les deux employés principalement en savonnerie.

« Il ne faut pas confondre la citronnelle avec le produit tiré de la verveine citronnelle (*Lippia citriodoro*) petit arbuste de la famille des Verbénacées ». (2)

EUCALYPTUS

Myrtacée — **Blue Gum**
Eucalyptus globulus — **Lemon Scented Gum**
et *Eucalyptus citriodora* — **Eucalypto**

« Le genre Eucalyptus renferme de nombreuses espèces, presque toutes originaires de l'Australie et la plupart riches en essences balsamiques » (3).

L'essence d'eucalyptus, extraite des feuilles, est surtout utilisée en pharmacie, pour la préparation d'eucalyptol.

L'eucalyptus est multiplié par semis en pépinière. Son exploitation débute lorsque les plants ont 2 à 3 m. Certains arbres adultes, dans leur milieu écologique d'origine, peuvent atteindre une hauteur de 100 m.

---

(1) G. Capus, p. 427, op. cit.
(2) G. Capus, p. 429, op. cit.
(3) G. Capus, page 419, op. cit.

GÉRANIUM (ROSAT)

Géraniacée — **Rose geranium**
Pelargonium capitatum — **Gérania**

L'essence de géranium se trouve à la surface des feuilles dans des cellules sécrétrices uniques. Très voisine de l'essence de rose, elle sert de base dans la fabrication des parfums.

Le géranium, originaire du Cap de Bonne Espérance, est une plante vivace offrant l'aspect de grosses touffes de 40 à 80 cm.

L'essence de géranium contient du géraniol et du citronellol.

Temps de travaux au Zaïre (rendement de 15 à 25 t/ha de feuilles) (en j.t/ha)
Création : 814
1re année : 414
2e année : 471
3e année : 414

LEMON GRASS

Graminée
Cymbopogon citratus — **Lemon Grass**
et *Cymbopogon flexuosus* — **Malabar Orcochin Grass**

Le lemon grass est probablement originaire de l'Inde. Il est souvent désigné, à tort, sous le nom de citronnelle.

« La plante présente de grosses touffes de feuilles étroites et retombantes, de coloration roussâtre, munies de gaines » (1). La multiplication se fait par éclats de souches.

« Les essences de lemon-grass sont surtout recherchées pour leur teneur en citral qui fournit le parfum artificiel de la violette (ionone), employé en parfumerie et savonnerie. » (2)

PATCHOULI

Labiée — **Patchouli**
Pogostemon patchouli — **Pachuli**

C'est une plante vivace originaire de l'Inde et des Philippines, dont les touffes atteignent 60 à 80 cm.

« On extrait des feuilles sèches l'essence de patchouli, d'odeur forte et caractéristique, qui rappelle l'essence de santol » (3).

(1) G. Capus, page 428, op. cit.
(2) G. Capus, page 428, op. cit.
(3) G. Capus - «Les plantes à parfum», op. cit.

LES RÉSINES A PARFUM

L'encens (Burséracée, *Boswellia carteri*) est obtenu à partir de la résine s'écoulant des incisions pratiquées sur le tronc de l'arbre. Cet arbre se trouve essentiellement à Djibouti, en Égypte et en Arabie du Sud.

La myrrhe (Burséracée, *Commiphora abyssinica*) n'a que des points communs avec l'encens.

Le benjoin (Styracacée, Styrax) est aussi obtenu en saignant l'arbre. « Le benjoin est jaune clair au début, puis avec l'âge il brunit et accentue son parfum» (1).

Il trouve son principal emploi en parfumerie.

VÉTIVER

Graminée
Vetiveria zizanioides **Vetiver Grass**
ou *Andropogon muricatus* **Espicanardo**

« Le vétiver est une graminée originaire de l'Inde d'où il s'est répandu dans toutes les régions chaudes du globe » (2).

« C'est une plante rhizomateuse, à chaumes robustes de 1,50 à 2 m de hauteur ».

« Chez le vétiver, contrairement aux autres graminées de ce genre, l'essence est localisée dans les racines » (3).

« Pour une bonne plantation , le rendement à l'ha atteint 3000 à 4000 kg de racines fraîches, soit 1500 à 2000 kg de racines séchées fournissant de 20 à 30 kg d'essence » (4).

« Une quantité importante d'essence de vétiver est absorbée par l'industrie savonnière » (5).

YLANG-YLANG

Anonacée **Ylang-Ylang**
Cananga odorata

1. BUTS DE LA CULTURE

Les fleurs de l'Ylang-Ylang donnent après distillation l'essence d'ylang-ylang ou essence de cananga.

(1) G. Capus, page 435, op. cit.
(2) V. den Abeele et Vandenput, page 647, op. cit.
(3) V. den Abeele et Vandenput, page 648, op. cit.
(4) V. den Abeele et Vandenput, page 650, op. cit.
(5) V. den Abeele et Vandenput, page 651, op. cit.

2. BOTANIQUE

Originaire des Moluques, le genre Cananga contient plusieurs espèces dont seul le *Cananga odorata var. genuina* est intéressant.

3. ÉCOLOGIE

Cet arbre demande une température élevée, un climat humide en basse altitude. Il craint le vent.

4. CULTURE

4.1. Multiplication

Elle se fait par semis en pépinière. Il y a 13 000 graines au kg.

La germination est irrégulière et lente (1 à 4 mois), un trempage dans l'eau à 70-80° C l'améliore.

Le repiquage en pépinière se fait à des espacements de 25 à 30 cm en tous sens.

Les plants sont bons à repiquer lorsqu'ils ont environ 18 mois et atteignent 30 à 40 cm de haut.

La mise en place des plants se fait à des espacements de 4,5 x 3,5 m.

4.2. Entretien

L'écimage s'effectue en saison chaude, à 1 mètre d'abord (fourchage) et ultérieurement à 2 mètres.

4.3. Récolte, rendements

La première floraison utile a lieu à 4-5 ans. La production est bonne jusqu'à 20 ans, à ce moment on procède à l'arrachage ou au recépage.

La production de fleurs est en moyenne de 5 kg par arbre.

5. ENNEMIS ET MALADIES

Un chancre est à signaler.

6. TECHNOLOGIE

L'extraction de l'huile essentielle s'effectue par :

— distillation (entraînement à la vapeur d'eau) dans des alambics en cuivre étamé, le rendement en essence est de 2,25% dont 14 à 46% d'extra;

— extraction par solvants volatils avec un rendement en concentré de 0,9 à 1%.

CARACTÉRISTIQUES DES ESSENCES

Densité à 15° C d =	EXTRA de 0,950 à 0,986	PREMIÈRE de 0,932 à 0,953	DEUXIÈME de 0,922 à 0,937	TROISIÈME de 0,910 à 0,920
Pouvoir rotatoire D =	– 25° à – 40° C	– 33° à – 60° C	– 40° à – 78° C	– 35° à – 87° C
Indice de réfraction à 20° C n =	1,498 à 1,509	1,500 à 1,509	1,506 à 1,512	1,500 à 1,515
Indice d'acidité IA =	jusqu'à 2,4	jusqu'à 1,6	jusqu'à 1,6	jusqu'à 1,6
Indice d'esters IE =	130 à 132	89 à 130	56 à 89	34 à 60
Esters % E % =	49 à 65 %	31 à 45 %	19 à 31 %	12 à 18 %
Alcool libre % A % =	8,5 à 15,5 %	7 à 11 %	4 à 8,5 %	3,5 à 6 %
Usages	parfumerie fine	crèmes de beauté parfumerie courante		savonnerie

7. DONNÉES STATISTIQUES

Temps de travaux aux Comores (400 pieds/ha, rendement de 2 250 kg de fleurs/ha) (en j.t/ha).

• création	140
• entretien	51
• récolte	200

SOUS-CHAPITRE X — PLANTES SACCHARIFÈRES

Canne à sucre
Autres plantes sacharifères : Sorgho, Panicum, Caroubier, Palmiers

CANNE A SUCRE

Graminée — **Sugar cane**
Saccharum — **Caña de Azucar**

1. BUTS DE LA CULTURE

La canne à sucre est cultivée pour ses tiges qui contiennent un jus sucré dont on tire le saccharose ou sucre cristallisable.

Elle est également utilisée en consommation directe, comme canne de bouche. De plus, elle est parfois cultivée comme canne fourragère (consommation en vert ou ensilage).

L'extraction du sucre se fait encore de façon traditionnelle (artisanat sucrier) en Inde surtout mais aussi dans plusieurs pays du Sud-Est asiatique et de l'Amérique latine. Les produits sont appelés gur, jaggery, khandsari, mascavado, açucar batido, etc.

A partir du jus de canne, on fabrique également du rhum de vesou (rhum agricole) et diverses boissons alcoolisées.

Les sous-produits de la fabrication industrielle du sucre de canne sont :

— la bagasse (résidu ligneux) employée comme combustible de la sucrerie ou pour la fabrication de panneaux, pâte à papier et furfural : de la cire peut en être extraite ;

— la mélasse utilisée, après fermentations, en distillerie pour produire rhums et alcools industriels (alcool moteur anhydre), en levurerie ou en autres productions (acides acétique ou citrique) ; elle sert également d'aliment du bétail en direct ou en mélanges ;

— les écumes (boues ou tourteaux) de filtration qui servent d'amendements pour les terres ;
— les cendres de bagasse également ;
— les vinasses de distillerie dont il faut éviter qu'elles polluent les rivières, à mettre dans les champs proches de la sucrerie.

Les bouts blancs ou extrémités supérieures des tiges coupées lors de la récolte peuvent être servis comme fourrage pour les animaux, etc.

Seuls la canne et le sucre industriels seront traités dans la suite de ce chapitre.

2. BOTANIQUE

La canne à sucre serait originaire de Nouvelle-Guinée : *Saccharum officinarum, Saccharum robustum.* D'autres *Saccharum* (*spontaneum, chinense, barberi*) sont utilisés pour la création des hybrides cultivés actuellement.

La canne à sucre n'étant limitée que par le froid (ou l'altitude), la majeure partie des régions tropicales et de nombreuses zones subtropicales se prêtent à cette culture.

2.1. Description

La tige de canne à sucre atteint 2 à 5 m de hauteur pour un diamètre de 2 à 4 cm. Elle ne se ramifie pas au-dessus du sol mais les yeux souterrains donnent naissance à d'autres tiges. Une touffe de canne bien «tallée» peut comporter 10 à 15 tiges.

Cette tige se compose d'une succession de nœuds plus ligneux, où sont implantés les yeux (bourgeons) et d'entre-nœuds gorgés de sucre. Les entre-nœuds peuvent atteindre 30 cm en cas de développement très rapide, mais ont en général 10 à 15 cm. Ils sont de couleur jaune, verte, rouge violette ou brune selon la variété et rougissent au soleil. La tige est glabre et présente une mince pellicule de cire. Elle porte des feuilles à gaines enveloppantes, alternées, mesurant jusqu'à 1,50 m de long et de 3 à 8 cm de large. La gaine qui protège les yeux est souvent recouverte de poils plus ou moins piquants. L'articulation (ochrea) entre gaine et limbe sert de point de repère aux mesures d'élongation.

Les racines sont d'abord des racines de boutures qui naissent de l'anneau radiculaire de la bouture puis des racines de tige qui se développent en racines superficielles et ramifiées, racines de soutien plus profondes et racines cordons qui peuvent descendre jusqu'à 6 mètres. 50% des racines se trouvent dans les 25 premiers centimètres et 90% dans les 60 premiers centimètres. Après chaque coupe, un nouveau système racinaire se constitue, l'ancien servant d'amendement.

L'inflorescence est terminale; c'est une panicule pyramidale de 0,50 à 1 m de longueur, constituée de ramifications primaires et secondaires portant à chaque articulation des paires d'épillets. Les graines, rares dans la nature, sont longtemps passées inaperçues.

2.2. Variétés

Les « variétés » ou clones sont obtenus par hybridation entre des parents

ayant dans leur ascendance plusieurs *Saccharum*. A partir de la canne noble (*S. officinarum*), seule canne cultivée jusqu'à la fin du 19e siècle, des apports de sang de cannes sauvages ont permis la création d'hybrides plus productifs, tolérants à certaines conditions adverses ou résistants aux maladies. On cherche aussi à utiliser des genres voisins tels que *Miscanthus, Erianthus* et *Sorghum*. Des techniques récentes font appel à la mutation (rayons, substances) ou à la para-sexualité (cultures de tissus, protoplastes).

Les hybrides sélectionnés en 7 à 10 ans parmi des nombres très élevés de plantules (seedlings) sont désignés par le sigle de la station de création souvent suivi de l'année du croisement et du numéro du clone. Ainsi B 54.142 est le 142e clone présélectionné en 1954 par la station de la Barbade.

— Principales stations et leur sigle

B	Barbe (Antilles anglophones)
CB	Brésil (Campos Brasil)
CP ou L	Louisiane (Canal Point)
Co	Inde (Coimbatore)
F	Taïwan (Formose)
H	Hawaii
M	Ile Maurice
Mex	Mexique
N	Afrique du Sud (Natal)
NCo	Natal-Coimbatore : sélection au Natal de croisements réalisés à Coimbatore
Phil	Philippines
PR	Porto-Rico
R	Ile de la Réunion
Q	Australie (Queensland)
Tuc ou Na	Argentine (Tucuman ou Norte Argentina)

— Quelques variétés intéressantes :

Elles sont produites en général par des stations de recherche hautement spécialisées ou bien par des usines ou des sociétés privées qu'il conviendra de consulter pour le choix d'une variété bien adaptée aux conditions écologiques et au mode d'exploitation.

A titre indicatif, on peut citer :
B 37.172 - 46.364 - 47.258 - 51.129 - 54.142 - 64.277
CB 41.76 - 47.355 - IAC 51.205
Co 449 - 740 - 775 - 1001 - 1148 - 64.15
CP 56.59 - 63.588 - L 62.96
H 50.7209 - 59.3775 - HJ 57.41
M 31.45 - 13.56
NCo 310 - 376 - N 52.219
Q 63 - 83 - 90 - Pindar-Ragnar
R 469 - 526 - 541
S 17

2.3. Cycles de culture

« Il y a deux cycles de la canne, selon que l'on considère celui allant de

plantation à plantation et qui peut durer de 3 à plus de 10 ans selon les pays ou celui allant de plantation ou de coupe précédente à coupe suivante et qui dure au maximum 2 ans (cas des Hawaii) et normalement 1 an » (1).

Le cycle allant de la plantation à la 1re récolte comporte les étapes suivantes :

— plantation ;
— levée ;
— tallage ;
— croissance (aérienne et souterraine) ;
— fléchage ;
— maturation technologique ;
— récolte.

Le fléchage précède la maturation de un à plusieurs mois.

Les cycles annuels suivants sont ceux des repousses successives et comprennent les mêmes étapes, plantation exceptée.

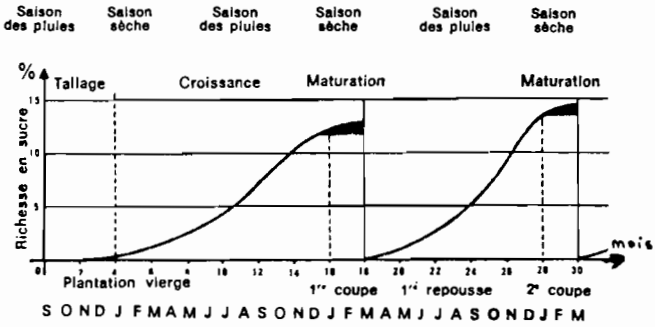
Quand le rendement des repousses tend à s'abaisser, on renouvelle la plantation après élimination des souches et préparation des sols.

Pour un cycle tropical classique, la récolte, qui doit s'étaler sur la période la plus longue possible (minimum 4 mois), a toujours lieu pendant la saison sèche et (si possible) fraîche et se termine avec la saison des pluies. C'est à cette époque que la canne est riche en sucre.

En culture pluviale, la plantation se fait :

— soit dès le début des pluies (c'est-à-dire en fin de campagne), pour des cannes qui seront récoltées en vierge à 12 mois environ (cannes dites de printemps, d'un an ou de « petite culture ») ;
— soit au cours ou vers la fin de la saison des pluies (en intercampagne), pour des cannes à récolter à 16 ou 18 mois (cannes dites d'automne, de 18 mois ou de « grande culture »).

Schéma simplifié de l'évolution du sucre % Canne



(1) « La canne à sucre » par R. Fauconnier et D. Bassereau, Editions Maisonneuve et Larose, page 16.

Dans le 1er cas, la vierge sera coupée en fin de campagne, les repousses successives seront récoltées de plus en plus tôt dans la campagne, la dernière coupe étant éliminée au début de campagne en vue de replantation : il y aura autant de coupes que d'années dans le cycle, mais les cannes auront eu, chaque fois, peu de temps pour mûrir.

Dans le 2e cas, la vierge sera récoltée en début de campagne, les repousses successives le seront de plus en plus tard, la dernière coupe intervenant en fin de campagne : il y aura une coupe de moins que d'années dans le cycle mais les cannes auront eu, chaque fois, plus de temps pour mûrir. C'est par le décalage des récoltes et le choix variétal que l'on étale la maturation des cannes tout au long de la campagne.

En culture irriguée, on adopte en général le cycle le plus intensif (une récolte par an) pour mieux rentabiliser la culture, l'irrigation permettant de réaliser la plantation pendant la saison sèche, d'accélérer la croissance et d'être mieux maître de la maturation.

3. ÉCOLOGIE

3.1. Climat

La canne est une plante des régions tropicales ensoleillées qui supporte des températures élevées et craint le froid.

Sa consommation en eau peut être calculée approximativement à partir de l'évaporation mesurée au bac classe A pendant la phase de croissance. La phase de maturation (accumulation du sucre) est favorisée par une période fraîche, sèche et ensoleillée au cours de la récolte.

— Température

- Températures optimales diurnes : germination 26° à 33° C
  croissance 28° à 35° C
- Température minimale de croissance : 15°-18° C
- Température létale : 0° C (gelée)

— Ensoleillement

Plante du type C4, la canne réagit nettement à la lumière et l'apprécie en permanence.

— Eau

- Besoin en eau au stade végétatif :
  — 100 à 170 mm par mois de végétation suivant les conditions climatiques,
  — 1000 à 2000 mm/an avec une saison sèche marquée de 4 à 5 mois.

On compte souvent 15 mm d'eau par tonne de canne par ha.

— Vents

Craint les vents violents et desséchants, mais supporte mieux les cyclones que beaucoup de plantes.

— Altitude

Limitée par le froid : jusqu'à 1600 m à l'équateur et 700 à 800 m sous les tropiques.

Le cycle de la canne, sa croissance et sa maturation sont étroitement conditionnés par le climat.

En résumé l'eau et la chaleur sont favorables à la croissance tandis que la sécheresse et le froid (surtout nocturne) sont favorables à la maturation.

3.2. Sols

Elle s'accommode plus ou moins de tous les sols (depuis 70 % d'argile jusqu'à 75 % de sable).

Les sols légers et perméables favorisent la maturation et les transports à la récolte. Les sols plus lourds permettent de mieux franchir des périodes sèches.

Ses principales exigences sont celles d'une certaine profondeur, d'une certaine aération et d'un pH ne dépassant pas des limites anormales.

Les sols les plus favorables présentent les caractères suivants :

- Roche mère : éruptive basique ou alluvions récentes.
- Texture : limoneuse ou sablo-argileuse.
- Structure : granuleuse poreuse.
- Profondeur : 70 cm.
- Nappe : profonde (1,50 m au moins à la saison sèche).

Avec le développement de la mécanisation, la topographie, les pierres, les termitières, les gros débris végétaux sont des facteurs maintenant très importants. La pente maximale est d'environ 7 % pour la coupe mécanique et 15 % pour le chargement mécanique.

Les parcelles de culture doivent avoir au moins 300 m de long.

4. CULTURE

En général, la culture de la canne à sucre dure de 4 à 8 ans.

4.1. Préparation du sol et plantation

4.1.1. AMÉNAGEMENT

La canne peut rentabiliser des améliorations foncières importantes quand elle est pratiquée de façon intensive.

C'est alors une culture riche.

Parmi les travaux d'aménagement qu'il est possible d'entreprendre, citons :

— abattage de forêt et dessouchage,
— epierrage,
— irrigation, drainage,
— élimination des termitières,
— ouverture de pistes de largeurs variables selon le trafic prévu,
— ouvrages d'art.

4.1.2. PRÉPARATION DU SOL

L'aération et la décompaction doivent être profondes.

La canne ne demande une terre finement ameublie que pour le lit des boutures.

La sole n'a aucun besoin d'être retournée.

Pour terrains lourds, on conseille un sous-solage puissant (surtout en 1re exploitation) à 0,80 m d'écartement et 60 cm de profondeur.

Pour terrains légers, un griffage profond, à 30-40 cm de profondeur, suffit.

Ensuite il faut :

— un hersage lourd à 25 cm (de préférence à un labour) ;

— un (ou des) hersage(s) moyen(s) ;

— un sillonnage à 15-20 cm de profondeur et 1,50 m d'écartement le plus souvent (0,90 à 1,80 m).

Pour les hersages, on utilise des disques crénelés.

4.1.3. PLANTATION

« Une bonne plantation consiste à mettre en terre, de la façon la plus économique possible, des boutures de canne devant permettre un démarrage de la culture dense, homogène et rapide » (1).

« Les yeux dormants de la tige, mis en terre, se développent et donnent des tiges primaires. De ces tiges, partent des tiges secondaires, etc. » (1).

« L'établissement d'une plantation est une course de vitesse entre la pourriture normale de la bouture ou sa destruction par des ennemis et le développement de ses bourgeons et de ses racines » (1).

«La plantation doit être telle (époque, préparation du sol, choix des boutures et leur protection) qu'il n'y ait pas à faire de replantation» (1).

Une plantation classique comprend trois opérations :

1. Coupe et transport de cannes de boutures prises dans une pépinière : les cannes sont coupées en haut et en bas avec leurs pailles.
2. Sélection et soins apportés aux boutures : mises en petits tas dans la parcelle à planter, les cannes sont épaillées à la main, coupées en boutures de 3 à 4 yeux ; les boutures sont souvent traitées contre maladies ou insectes.
3. Distribution et mise en terre. Les boutures sont mises à plat dans le fond des sillons en files simples ou même doubles puis recouvertes de 2 à 5 cm de terre fine.

Il faut de 4 à 8 tonnes de boutures pour planter un hectare. Une bonne levée commence en 10 à 15 jours. Avec 1 ha de pépinières, on plante 8 à 15 ha.

En pratique, on simplifie souvent la plantation, si les conditions de la levée sont bonnes, en plaçant les cannes entières, avec leurs pailles, dans les sillons pour les couper ensuite en boutures.

Les diverses opérations d'une plantation peuvent être partiellement ou totalement mécanisées.

4.2. Irrigation et drainage

4.2.1. IRRIGATION

Tous les modes d'irrigation peuvent être employés :

• **A la raie** : de 2 à 5 pour mille, on utilise la pente naturelle.

Le planage est parfois nécessaire, dans le cas de pentes irrégulières. Le système des « touches de piano »(Arrighi de Casanova) permet de diminuer les

(1) «La canne à sucre», pages 169, 172 et 176, op. cit.

travaux de terrassement et de réduire l'importance des décapages avec des parcelles de 100 à 300 m de long.

Les doses d'arrosage sont variables suivant les sols. En moyenne : 70 à 100 mm ou 1 000 m^3/ha par tour d'eau.

Pas d'irrigation dans les 2 à 4 mois qui précèdent la coupe, suivant le degré de sécheresse en vue de permettre la maturation.

• **Par aspersion** : arroseurs à moyenne pression 18 x 18 ou 18 x 24 m ; arroseurs géants, fixes ou mobiles, ou boom-o-rain ; systèmes pivots arrosant de grands cercles (100 ha).

Les tours d'eau se donnent à un intervalle de 7 à 10 jours pour une pluviométrie horaire de 5 à 15 mm.

• **Par calans** ou en semi-submersion pour des terres très lourdes.

• **En goutte-à-goutte** superficiel ou enterré (en développement aux Hawai).

4.2.2. LE DRAINAGE

« La canne à sucre ne peut vivre dans le milieu asphyxiant d'un sol engorgé d'eau. Le drainage est donc très souvent le complément indispensable de l'irrigation » (1).

D'autre part, le drainage aura des effets bénéfiques sur :

— le développement des racines,
— le réchauffement du sol,
— la croissance de la canne,
— la résistance aux maladies,
— l'amélioration de la maturité.

4.3. Fumure

On emploie utilement la méthode du diagnostic foliaire pour déterminer les besoins de la plante. C'est un guide sûr pour la conduite de la fumure (et de l'irrigation) mais délicat d'emploi.

Il peut révéler des phénomènes qui, sans lui, seraient ignorés.

Prélever à cette fin la 3e feuille sur des repousses de 4-5 mois.

Teneurs normales : N = 1,85 %, P = 0,20 %, K = 1,20 % M.S.

Les exportations d'éléments majeurs (en kg) par tonne de canne à sucre usinable sont données par le tableau suivant (d'après R. Fauconnier et D. Bassereau, op. cit.) .

	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	S
Canne usinable	0,72	0,42	1,47	0,12	0,20	0,27
Sommités et pailles	1,15	0,32	1,52	0,68	0,32	0,16
Souches et racines	0,26	0,12	0,39	0,13	0,09	0,07
Totaux	2,13	0,86	3,38	0,93	0,61	0,50
Valeurs extrêmes	1,56-2,30	0,65-1,28	2,23-4,60	—	—	—

(1) « La canne à sucre », p. 158, op. cit.

4.3.1. FUMURE DE FOND

Lorsque l'on dispose déjà de sous-produits de sucrerie, il est possible d'utiliser :

- Les écumes de défécation riches en chaux et acide phosphorique.
  Teneur : CaO : 3 % ; P_2O_5 : 0,5 % ; N : 1,5 à 5 pour mille, K_2O : 1 %.
  25 tonnes apportent 50 kg d'azote, 125 kg d'acide phosphorique, 25 kg de potasse et 750 kg de chaux.
- Les vinasses de distillerie riches en potasse mais présentant une action corrosive sur les canalisations d'irrigation.
  Teneur : N : 1 à 2 pour mille ; K_2O : 8 à 10 pour mille.
  100 m^3 apportent 150 kg d'azote et 1 000 kg de potasse.
- Les mélasses, riches en K_2O, ne sont employées qu'exceptionnellement.
  Teneur : N : 0,8 % ; P_2O_5 : 0,3 % ; K_2O : 3 %.
  Dans le cas contraire, on fait souvent appel :
- au chaulage : 3 à 5 t/ha de calcaire broyé par ha ou 1 à 3 t/ha de chaux pour des sols à pH $\leqslant$ 4,5 (utiliser calcaire magnésien).
- au phosphatage : 100 à 400 kg/ha P_2O_5 à placer dans le sillon, à la plantation.

4.3.2. FUMURE D'ENTRETIEN

Cannes vierges : N = 100 kg ; P_2O_5 = 60 kg ; K_2O = 150 kg
Repousses : N = 125 kg ; P_2O_5 = 60 kg ; K_2O = 150 kg.

Pour réduire les frais de transport et d'épandage, on utilisera de préférence des engrais concentrés.

La fumure s'applique dans le sillon ou 2 à 3 semaines après plantation sur cannes vierges et aussitôt après la coupe ou au début des pluies sur repousses.

Seules les fortes doses d'azote et de potasse méritent d'être scindées (cas des cycles longs).

4.4. Désherbage

Il est encore surtout manuel.

Il peut être **mécanique** ou motorisé (en prenant soin de ne pas blesser les jeunes cannes).

Il est de plus en plus **chimique**, surtout dans les grandes exploitations à haut niveau technique.

Parmi les principaux désherbants, citons :

— Les phytohormones : 2-4 D ; MCPA - 2-4-5 T (le D-4 D est utilisé à la dose de 2 à 4 l/ha d'équivalent acide avec une dilution de 600 l/ha).
— Les dérivés de l'urée : CMU et DCMU.
— Les dérivés de la Triazine : Symazine, Atrazine, Ametryne.
— Ioxynil ; Mecoprop ; Glyphosate.
— Dalapon ; T.C.A. ; Chlorate de soude.

L'épandage se fait par pulvérisateur à dos, porté sur tracteur ou par avion (50 à 80 l/ha).

L'emploi le plus courant des herbicides a lieu en préémergence sur la ligne, juste après la plantation.

4.5. Récolte et rendements

« Par sa durée, par la somme des moyens humains et matériels mis en oeuvre, par son impérative organisation, la récolte (ou campagne) est la phase principale de toute culture de canne » (1).

Elle exige une préparation soignée comportant deux objectifs :

— maturation de la canne, se présentant sous forme de courbe de richesse en sucre la plus élevée et la plus longue possible, le maximum de richesse se situant entre la 1/2 et les 2/3 de la campagne ;

— réalisation matérielle : estimation des tonnages, établissement des plans de coupe et d'arrêt des irrigations, protection contre les incendies, amélioration des pistes, révision du matériel, prévision de personnel.

Une sucrerie travaille jour et nuit un tonnage constant de cannes qui doivent être les plus fraîches et propres possibles. Son rayon d'action est de 15 à 20 km au maximum.

Les délais entre coupe et broyage ne devraient pas dépasser 24 heures si la canne est « brûlée » et 48 heures si elle est coupée « en paille ».

La coupe se fait surtout à la main mais souvent à la machine. Le brûlage préalable des feuilles sèches rend la coupe plus aisée et rapide.

La coupe se fait, en bas, au plus près du sol et, en haut, à la limite entre la partie déjà mûre et bout blanc gorgé d'eau.

A la main, les coupeurs accumulent sur un andain (après élimination éventuelle des pailles) les cannes correspondant à 4 lignes. Ils travaillent à la tâche.

Les machines sont soit des coupeuses-andaineuses, soit des coupeuses-tronçonneuses-chargeuses. Aux Hawai, du fait des très forts tonnages de cannes très couchées, on utilise le « push-rake » qui arrache les cannes et les met en tas.

Le chargement mécanique se généralise. On utilise en général des machines spéciales dont le bras saisit sur l'andain un paquet de canne puis pivote de 90° pour le placer dans le véhicule de transport.

Le transport direct à l'usine est de plus en plus pratiqué, mais il y a rupture de charge :

— dans les zones traditionnelles où l'on utilise encore la traction animale ou la voie ferrée,

— dans certains systèmes où des centres de transfert permettent le passage des cannes dans des véhicules gros porteurs (20 à 40 t).

En transport direct, on utilise, selon la distance ou le pays, des tracteurs et remorques, des camions, des semi-remorques ou des conteneurs.

La densité de charge est de l'ordre de 500 kg/m^3 pour une canne bien chargée à la main, de 350 kg/m^3 pour une canne tronçonnée (qui se détériore plus vite) et de 200 à 250 kg/m^3 pour une canne entière chargée en vrac à la machine.

Le chargement mécanique et le transport se font généralement jour et nuit.

En culture industrielle, on estime à 60 t/ha le rendement moyen minimum économique d'une culture pluviale. En culture irriguée, on doit obtenir 85 t/ha au moins et si possible 100 t/ha.

La succession des rendements agricoles est couramment la suivante :

(1) « La canne à sucre », p. 201, op. cité.

	Culture pluviale	Culture irriguée
Vierge de 12 mois	60	95
Vierge de 18 mois	100	(120)
1re repousse	75	100
2e repousse	65	95
3e repousse	60	85
4e repousse	(60)	(75)
5e repousse		(70)
Moyenne par ha récolté	65-75	90-95

Les meilleurs rendements dépassent 10 tonnes de canne par hectare et par mois.

En sucre par hectare on compte environ 6 à 8 tonnes en culture pluviale et 8 à 11 tonnes en culture irriguée.

5. MALADIES ET ENNEMIS

5.1. Maladies

Les principales maladies sont groupées ici selon leur agent causal.

5.1.1. MALADIES CRYPTOGAMIQUES

Noms	Principaux symptômes	Traitements	Zones
Charbon (Smut)	Fouet charbonneux, tiges allongées et fines	Thermique court : 54° C, 25 minutes Variétés résistantes. Roguing.	Monde
Mildiou (D. Mildew)	Stries pâles allongées, duvet blanc face inférieure feuilles	Roguing. Pépinières. Labour. Variétés résistantes.	Asie Australie
Fusarioses (Pokkah Boeng) (Stem rot, wilt)	Pourriture du sommet de la tige, de la bouture. Déformation, dessèchement feuilles	Variétés résistantes. Soins aux boutures.	Monde
Morve rouge (red rot)	Nervures feuilles rougies tiges et boutures rougies	Variétés résistantes. Choix des boutures.	Monde
Ananas (Pineapple d.)	Pourriture rouge des boutures odeur d'ananas	Variétés résistantes. Traitement des boutures.	Monde

5.1.2. MALADIES BACTÉRIENNES

Noms	Principaux symptômes	Traitements	Zones
Gommose (Gumming d.)	Raies jaunes sur feuilles se desséchant	Désinfection couteaux. Variétés résistantes.	Mascareignes Asie Antilles
Échaudement (Leaf-scald)	Raies blanches, fines et longues sur feuilles et gaine. Ailerons.	Roguing. Pépinières. Désinfection couteaux. Traitement long. Variétés résistantes.	Asie Antilles Afrique
Rabougrissement (Ratoon Stunting disease : RSD)	Aucun. Parfois discolorations rouges en virgules dans les noeuds	Traitement long boutures : 2 h à 50,5° C. Désinfection couteaux. Pépinières.	Monde

5.1.3. MALADIES À VIRUS

Noms	Principaux symptômes	Traitements	Zones
Mosaïque (S.C.M.V.)	Marbrure des feuilles jeunes.	Roguing. Pépinières. Traitement long. Variétés résistantes.	Monde sauf certains pays.
Stries chlorotiques (Chlorotic streak)	Lignes jaunâtres à bords mal définis, fugaces ou se nécrosant au centre.	Traitement court 50° C 30 minutes ou 52° C 20 minutes. Variétés résistantes.	Monde sauf Asie.
Maladie de Fidji (Fiji d.)	Déformation du sommet. Tumeurs jaunes étroites de +/- 1 cm de long, en relief sur face inférieure jeunes feuilles.	Variétés résistantes.	Australie Philippines Thaïlande

5.2. Ennemis

Les principaux ennemis de la canne sont :

— les borers de la tige dont les larves creusent des galeries dans la canne et abaissent sa richesse en sucre (lutte biologique) ;

— les nématodes des racines souvent très graves en sols sableux (traitement du sol) ;

— les insectes des racines (vers blancs, cigales, termites) (lutte chimique et biologique) ;

— les borers du sommet et les chenilles phyllophages aux dégâts spectaculaires mais peu importants ;
— les cochenilles roses rarement ennuyeuses ;
— les rats qui apprécient beaucoup la canne à sucre et sont difficiles à combattre (appâts).

5.3. Protection phytosanitaire

En ce qui concerne les ennemis de la canne, il est préférable de faire appel à des spécialistes dès que la fréquence des attaques devient alarmante.

En ce qui concerne les maladies, outre l'appel au spécialiste, il est bon de se rappeler que :

— les nouvelles variétés doivent être introduites (sous forme de boutures) avec toutes garanties phytosanitaires et par le truchement d'une quarantaine agréée et efficiente ;
— la méthode de lutte la plus intéressante (efficacité et économie) se réalise par la méthode de pépinières successives :
  • sélection variétale initiale,
  • traitement long en pépinière primaire,
  • traitement court en pépinières secondaires,
  • soins poursuivis jusqu'en pépinières tertiaires : désinfection des couteaux, roguings successifs dans les jeunes plantations, utilisation exclusive de cannes vierges pour boutures.

6. TECHNOLOGIE

6.1. Quelques définitions concernant l'usinage de la canne à sucre

La canne à sucre a, en moyenne, la composition suivante :

• Ligneux (en fibres)	14 %
• Eau	70 %
• Saccharose (Pol)	14 %
• Impuretés solubles	2 %

On appelle :

- Brix = Saccharose + Impuretés solubles.
- Pureté = Saccharose % Brix (ici 87,5 %).
- Jus absolu = Canne - Ligneux = Eaux + Brix.
- Extraction (aux moulins ou à la diffusion) :
  Saccharose extrait dans le jus mélangé
  % Saccharose contenu dans la canne.
  En moyenne 50 à 80 % dans l'artisanat.
- Récupération à la concentration :
  Saccharose contenu dans le sucre.
  % Saccharose entré dans le jus.
  En moyenne, 85 à 88 %.
- Récupération totale : $\frac{\text{Extraction} \times \text{Récupération}}{100}$

  En moyenne, 80 à 85 %.

- Rendement industriel : sucre commercial extrait % canne.
  En moyenne, 9 à 12 % (10 %).
  Le rendement industriel exprimé en saccharose est égal à :

$$\frac{\text{Pol \% Canne} \times \text{Récupération totale}}{100}$$

Pour une canne à 14,0 de Pol et une récupération totale de 80 % à 85 %, on obtient un rendement de :

14,0 x 0,80 = 11,2 à 14,0 x 85 = 11,9

soit : 14,0 x 3,0 = 11,0 à 14,0 - 2,0 = 12,0.

N.B. : Le jus de canne est d'autant plus riche que la pression d'extraction est plus faible. Le brix du jus prélevé à la gouge ou par torsion est plus élevé que celui du jus du premier moulin usine correspondant.

Pour extraire le saccharose, il faut effectuer les opérations suivantes (schéma p. 952).

Cannes

Préparation	Cannes coupées déchiquetées et défibrées
Extraction	Jus + Bagasses
Clarification	Jus éclair + écumes de défécation
Évaporation	Sirop
Cristallisation	Cristaux de sucre + liqueur mère
Malaxage	Grossissement cristaux
Turbinage	Sucre de premier jet + égouts
Reprise des égouts	Sucre de 2e jet + égouts
Reprise des égouts	Sucre de 3e jet + mélasse

Séchage du sucre cristallisé

Emballage du sucre cristallisé

Sucre cristallisé

6.2. Description de chacune des opérations

Préparation : 2 coupe-cannes et parfois 1 schredder et/ou 1 défibreur.

Extraction : les cannes passent dans des moulins qui les écrasent. On obtient ainsi le jus et la bagasse qui est le résidu fibreux. On y pratique l'imbibition composée pour mieux épuiser la bagasse.

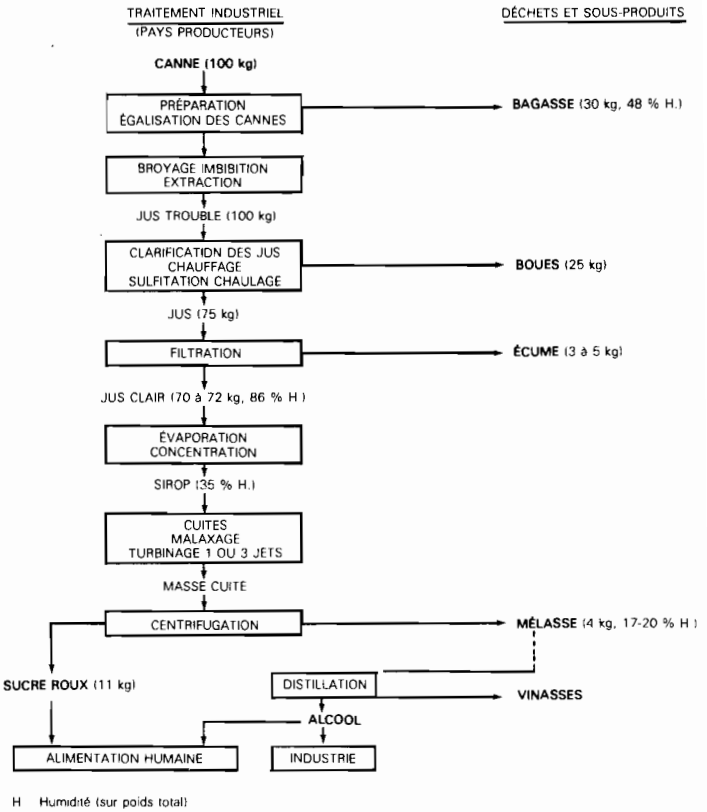
Épuration : le jus contient un grand nombre d'impuretés que l'on élimine par tamisage, par chauffage léger et par chaulage.

Si on désire du sucre blanc, c'est à ce stade que l'on fait l'adjonction d'anhydride sulfureux (sulfitation). Le jus est décanté et filtré.

Évaporation : le jus clair est concentré dans des évaporateurs à pression réduite, puis à vide partiel et à des températures successives de 108°, 100°, 80° et 55° C (multiple effet) ; l'eau s'élimine sous forme de vapeur et il reste le « sirop ».

Cristallisation : le sirop est transformé en une masse pâteuse, qui contient des cristaux de sucre et un liquide plus ou moins épais et visqueux appelé « liqueur-mère », dans des chaudières à cuire (cuites), à pression réduite et à 55° C.

CANNE A SUCRE
SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



H Humidité (sur poids total)

Malaxage-Turbinage : la « masse cuite » est malaxée ; les cristaux de sucre et le sirop d'égout sont ensuite séparés dans une centrifugeuse. On obtient du « sucre de premier jet », après « clairçage » dans la turbine.

Reprise des sirops d'égout : ces sirops sont concentrés à nouveau, malaxés longuement puis turbinés à nouveau. On obtient du « sucre de deuxième jet » et des « égouts ».

Reprise des égouts : les égouts sont concentrés, puis turbinés à nouveau. On obtient du « sucre de troisième jet » et de la « mélasse ».

Le troisième jet est réempâté ou refondu pour être réintroduit en 1er jet.

Séchage : tous les sucres cristallisés sont séchés séparément.

Emballage : puis ils sont emballés dans des sacs. Ces sucres cristallisés peuvent être consommés sous cette forme dans les pays producteurs, mais ils sont le plus souvent envoyés dans des usines qui, à la suite d'une série d'opérations de raffinage, transforment ce sucre cristallisé en « sucre raffiné » vendu aux consommateurs sous forme de morceaux ou de pains de sucre + cristal ou semoule.

6.3. Sous-produits

Bagasses : 1 000 kg de canne donnent environ 250 à 300 kg de bagasse contenant en moyenne 49 % d'eau, 48,5 % de fibre et 2,5 % de matière dissoute (sucre) ; la valeur calorifique nette de la bagasse est de 1 900 kcal/kg.

Ecumes de filtration : produites à raison de 30 à 35 kg par tonne de canne, les écumes contiennent environ 80 % d'eau et 1,5 % de sucre.

Mélasses : la composition des mélasses est en moyenne : eau 10 %, saccharose 35 %, autres sucres (réducteurs) 20 %, cendres 15 %. Densité 1,4 à 1,5.

En distillerie, on obtient 300 l d'alcool pur (240 kg) et 3 800 l de vinasse par tonne de mélasse. En distillerie directe, on obtient à partir du jus d'une tonne de canne : 70 l d'alcool pur et 910 l de vinasse.

6.4. Résultats

La quantité de saccharose contenue dans les cannes varie de 12 à 15 % en moyenne ; elle peut atteindre 18 %. Le rendement en usine le plus courant est situé entre 9 et 11 %.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (en j.t/ha)

• **Plantation**

— Manuelle (levée délicate ou essais)

Coupe des pépinières	3 t/8 heures
Épaillage des cannes	2 t/8 heures
Coupe des boutures (avec triage)	1,5 t/8 heures
Trempage des boutures	1 t/8 heures
Mise en place des boutures	0,2 ha/8 heures
Épandage engrais dans sillons	1 ha/8 heures

Recouvrement manuel	0,3 ha/8 heures
Total :	25 jours/ha

— Simplifiée (bonnes conditions de levée)

Coupe des pépinières	3 t/8 heures
Mise en place des cannes	0,4 ha/8 heures
Coupe des boutures dans sillons	1,0 ha/8 heures
Épandage des engrais	1,0 ha/8 heures
Recouvrement	0,3 ha/8 heures
Total :	10 jours/ha

— Mécanique :

Selon la machine utilisée :	5 à 15 jours/ha

• **Entretien**

— Manuel

- Herbicides (pré-émergence) sur ligne	2,5 ha/8 heures
- surface totale	1,0 ha/8 heures
- Sarclage (par sarclage) - vierge	15-20 jours/ha
- repousse	10-15 jours/ha
- Épandage engrais (2e dose)	1,0 ha/jour
- Irrigation à la raie - sans siphon	0,5-1,0 ha/jour
- avec siphons	2,0-4,0 ha/jour

— Mécanique

Selon la capacité des engins utilisés et les heures effectives sur 24 heures.

• **Récolte**

— Coupe

- Manuelle	
Cannes en paille	1,5 à 2,5 t/jour
Cannes brûlées	3,0 à 6,0 t/jour
(maximum)	10,0 à 15,0 t/jour
Cannes attachées	1,0 à 1,5 t/jour
- Mécanique	
• Tronçonneuses-chargeuses	
- par heure effective	30 t/heure
- par jour de 10 heures	135 t/jour
• Andaineuses	
- par heure effective	40 t/heure
- pour jour de 10 heures	180 t/jour

— Chargement

- Manuel	
• en paquets	8 t/jour
• en vrac	5 t/jour
- Mécanique	
• par heure effective	25 à 40 t/heure
• par jour de 24 heures	300 à 500 t/jour

7.2. Production de sucre (en milliers de tonnes)

			1980-81	1985-86
		Amérique du Nord et Centrale	15 855	17 499
		Amérique du Sud	13 317	12 802
		Asie	16 117	21 389
		Europe	15	16
		Afrique	5 852	7 213
		Océanie	3 830	3 803
		Total mondial sucre de canne	54 986	62 722
		Total mondial sucre de betterave	33 008	36 867
		Total mondial	87 994	99 589
		Brésil	8 521	8 274
		Inde	5 589	7 612
		Cuba	7 542	7 347
		Chine	2 565	4 663
		Mexique	2 586	4 068
		Australie	3 419	3 439
		Thaïlande	1 641	2 586
		Afrique du Sud	1 737	2 280
		Indonésie	1 292	1 871
		États-Unis	1 547	1 833
		Cuba	6 220	6 517
		Australie	2 867	2 839
		Brésil	2 227	2 443
		Thaïlande	704	1 738
		Afrique du Sud	544	1 051
		Inde		8,0
		Pakistan		1,3
		Colombie		0,9
		Bangladesh		1,7
		Autres		0,2
		Total mondial		11,1

7.3. Consommation de sucre (canne + betterave) par habitant

	1980	1985
Amérique du Nord	41,1	31,5
Amérique Centrale	43,8	45,9
Amérique du Sud	45,9	36,5
Asie	8,5	10,9
Europe	41,0	41,3
Afrique	14,7	14,7
Océanie	45,8	41,8
Total mondial	20,1	20,3

Source : I.S.O. (International Sugar Organization)

AUTRES PLANTES SACCHARIFÈRES

La betterave vient en deuxième place dans le monde pour la production du sucre. Elle gagne actuellement dans les zones méditerranéennes.

Un grand nombre de palmiers possèdent un suc sacharifère dans leurs jeunes tissus, abondant surtout au niveau des inflorescences.

Au Cambodge, la sève produite par l'un d'entre eux (*Borassus*) sert à la fabrication du sucre.

Les sorghos sucrés peuvent servir à produire des sirops non cristallisables.

Un panicum (*P. burgu*) répandu dans la zone d'inondation du Niger renferme du sucre dans sa tige et sert à Tombouctou, à la fabrication d'un vin consommé localement.

L'érable à sucre est localisé au Canada.

Le fruit du caroubier, abondant en Afrique du Nord, contient 20 à 25 % de sucre et sert essentiellement à la nourriture du bétail.

Cacaoyer
Caféier
Colatier
Guarana
Maté
Tabac
Théier

CACAOYER (1)

Sterculiacée **Cocoa**
Theobroma cacao **Cacao**

1. BUTS DE LA CULTURE

La fève de cacao constitue la matière première d'une importante industrie qui fabrique :

— soit des produits demi-finis destinés à d'autres industries :
- pâte de cacao utilisée en chocolaterie, biscuiterie, pâtisserie,
- fondue de cacao, destinée à diverses industries alimentaires de produits sucrés,
- beurre de cacao, utilisé en confiserie, chocolaterie, parfumerie, pharmacie...

— soit des produits finis destinés directement à la consommation :
- chocolat en tablette,
- chocolat en poudre,
- confiserie de chocolat.

Les sous-produits de cette industrie, coques, matières grasses extraites des coques et germes, peuvent être récupérés pour l'alimentation du bétail, la fabrique d'engrais, la pharmacie ou la savonnerie.

2. BOTANIQUE

Le cacaoyer est originaire des forêts tropicales humides de l'Amérique Centrale et du Sud.

Il y était cultivé par les Mayas, bien longtemps avant l'arrivée des Européens.

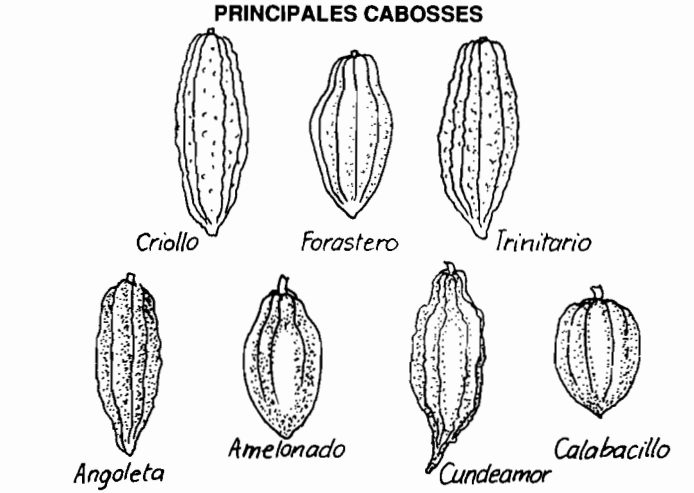
2.1. Classification

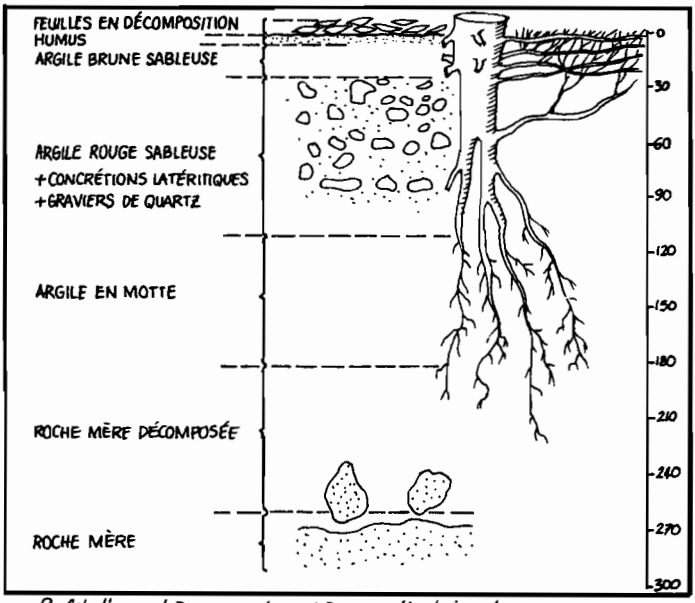
Famille des Sterculiacées.

La seule espèce cultivée commercialement est *Theobroma cacao L.*

Il est possible de répartir les cacaoyers cultivés en trois grands groupes :

(1) Cette fiche a été rédigée avec la collaboration de l'I.F.C.C.





Profil d'un sol à cacao et système radiculaire du cacaoyer
(d'aprés C.F. CHARTER London cacao conference 1949)

— Les **Criollo** ont des cabosses vertes ou rouges avant maturité, verruqueuses, de forme allongée, à sillons profonds et à coques minces et tendres (amande de couleur blanche).

Les Criollo malgré leurs très grandes qualités ne sont presque plus cultivés actuellement. Ils donnent un chocolat fin, aromatisé.

— Les **Forastero** amazoniens fournissent la presque totalité des cacaos courants, provenant du Brésil et de l'Ouest africain.

Leurs cabosses sont vertes devenant jaunes à maturité, de forme ovale, sans sillons profonds et à coques épaisses et dures (amande violet foncé et plate).

L'***Amelonado*** africain est rattaché à ce groupe.

— Les **Trinitario** fournissent actuellement 10 à 15 % de la production mondiale de cacao et sont des hybrides des deux premiers groupes.

2.2. Description

Arbre de petite taille (5 à 7 m de hauteur moyenne), qui atteint son plein développement vers l'âge de 10 ans. En plantation, il doit se maintenir de 25 à 30 ans et peut produire jusqu'à 50 ans, mais les plantations âgées ont souvent beaucoup de manquants.

2.2.1. LA GRAINE

Elle n'a pas d'albumen et a la forme d'une fève de 2 à 3 cm de long, recouverte d'une pulpe mucilagineuse blanche, de saveur sucrée et acidulée. Sous cette pulpe se trouve la coque de la graine.

Tout le volume de la graine, à l'intérieur du tégument, est pratiquement occupé par les 2 cotylédons de l'embryon dont les couleurs peuvent varier du blanc des « Criollo » au violet foncé des « Forastero ».

La graine de cacao est très riche en matière grasse (50 à 55 % de beurre de cacao). Elle contient en moyenne 1,7 % de théobromine (alcaloïde très voisin de la caféine).

Aucune substance caractéristique de « l'arôme chocolat » n'a pu être décelée dans la graine de cacao non fermentée.

La graine de cacao est prête à germer dès que le fruit est mûr (et même un peu avant). Elle perd assez rapidement son pouvoir germinatif dès qu'elle est extraite de la cabosse.

La viabilité de ces graines est principalement affectée par la température et l'humidité (qui doit être de 100 %).

2.2.2 LE SYSTÈME RACINAIRE

Après germination de la graine, la racine prend la forme d'un pivot, qui donne naissance à des racines latérales. Celles-ci ne prennent de développement important que dans la partie supérieure. Les racines latérales sont abondantes chez le jeune cacaoyer et se répartissent toutes dans la couche humifère superficielle du sol. Le cacaoyer est un arbuste humicole qui se nourrit dans l'horizon de surface. Ceci est important pour calculer ses besoins en engrais minéraux.

L'enracinement des boutures plagiotropes se fait différemment : elles commencent par émettre des racines latérales, puis parfois l'une d'elles peut se différencier pour former un pivot. Plus récemment, des chercheurs togolais de l'IRCC ont montré que les boutures prélevées sur du bois orthotrope produisent

des plants à enracinement pivotant. Cela assure une meilleure résistance à la sécheresse.

2.2.3. LE TRONC

La croissance en hauteur de la tige n'est pas continue. Vers l'âge de 18 mois elle est interrompue. L'extrémité de la tige présente l'aspect caractéristique d'un massif de 5 bourgeons axillaires disposés en verticille et dont le développement donne naissance à 5 branches plagiotropes formant la couronne. Le bourgeon terminal disparaît à ce stade, mais il arrive fréquemment qu'un bourgeon axillaire (en dessous des branches de la couronne) se développe et donne naissance à un nouvel axe orthotrope qui va se comporter comme la première tige, avec formation d'une deuxième couronne... Quatre étages peuvent ainsi se superposer à la tige initiale, mais seule la couronne supérieure reste en place et les autres disparaissent.

Le port des branches et des ramifications secondaires est subhorizontal (plagiotropie). Leur croissance est indéfinie mais discontinue : elle se fait par poussées foliaires successives (« flushes »), séparées par des périodes de repos pendant lesquelles les bourgeons terminaux reprennent leur dormance.

Les Anglais utilisent les dénominations espagnoles pour décrire l'architecture des cacaoyers : chupon = gourmand, jorquet = couronne.

2.2.4. LA FEUILLE

Elle est entière. Le limbe peut atteindre 50 cm. Sa vie est égale à 1 an.

Sur un axe orthotrope, la phyllotaxie est de 3/8. Sur un axe plagiotrope, elle est de 1/2.

2.2.5. LA FLORAISON

Le cacaoyer peut fleurir toute l'année. Les fleurs apparaissent sur le tronc et les branches en inflorescences. Les zones où apparaissent chaque année les inflorescences forment de petits massifs renflés que l'on appelle coussinets floraux. Un coussinet peut porter de très nombreuses fleurs en même temps.

Les fleurs sont très petites et de couleur blanchâtre à rosée. Elles sont pentamères, c'est-à-dire qu'il y a 5 sépales, 5 pétales, 5 étamines, 5 staminodes et que l'ovaire est divisé en 5 loges contenant 6 à 10 ovules, qui peuvent donner 30 à 60 fèves par cabosses, si le nombre de grains de pollen déposés par les insectes est suffisant.

2.2.6. LA FRUCTIFICATION

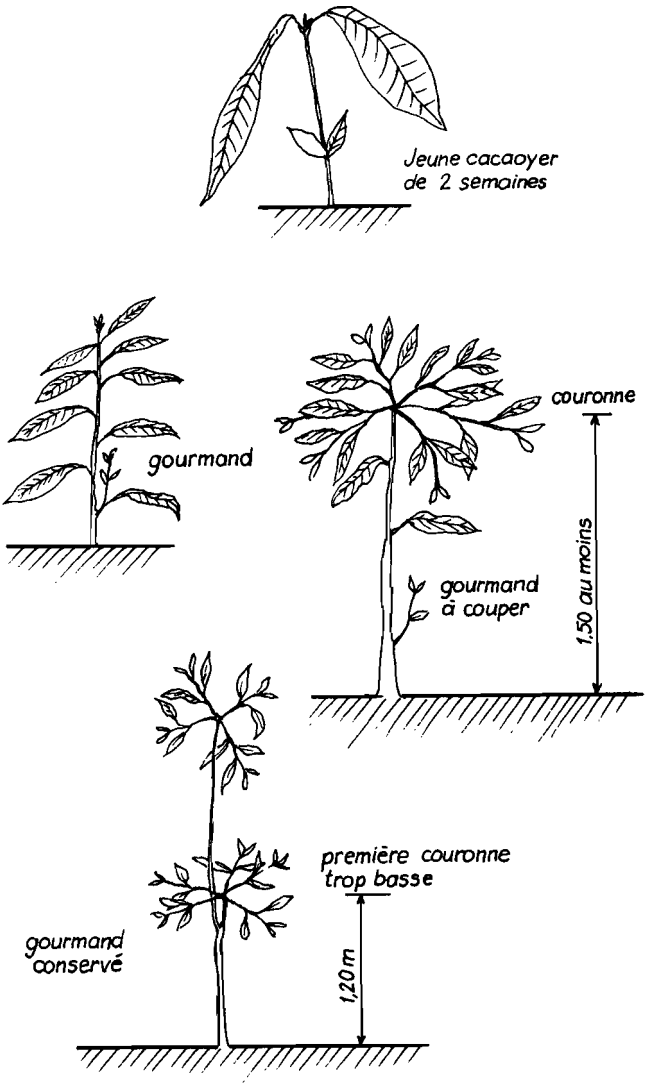
Le cacaoyer produit annuellement plusieurs milliers de fleurs alors que quelques dizaines de fruits sont formés.

La pollinisation est essentiellement entomophile.

On observe chez le cacaoyer de nombreux cas d'incompatibilité : auto-incompatibilité fréquente chez les « Trinitario » (les clones auto-incompatibles étant également incompatibles entre eux), de règle chez les « Forastero » haut-amazoniens (qui par contre peuvent être compatibles), rare chez les autres « Forastero ». **Le phénomène d'incompatibilité revêt une très grande importance pour tous les travaux de sélection exécutés sur le cacaoyer.**

Les fleurs non fécondées soit par défaut ou insuffisance de pollinisation, soit par suite d'incompatibilité avec le pollen reçu, flétrissent et tombent.

La durée nécessaire au développement du fruit varie de 5 à 7 mois.


Jeune cacaoyer
de 2 semaines
gourmand
couronne
1,50 au moins
gourmand
à couper
première couronne
trop basse
gourmand
conservé
1,20 m

Ce fruit est une baie appelée « cabosse ». Le jeune fruit, lui, est appelé « chérelle ». De nombreuses chérelles n'arrivent pas à maturité et se dessèchent. Il s'agit là d'une phénomène normal, connu sous le nom de « wilt ».

Les cabosses peuvent peser de 200 g à 1 kg. Elles contiennent en général de 30 à 40 graines.

Une cabosse moyenne pèse 400 g, contient 100 g de fèves fraîches qui fourniront 35 à 40 g de cacao marchand.

3. ÉCOLOGIE

3.1. Température

La température moyenne annuelle optimum se situe aux environs de 25° C. Le minimum absolu ne doit pas être inférieur à 10° C.

3.2. Hygrométrie - Pluviométrie

Le minimum annuel des précipitations se situe autour de 1250 mm ; une moyenne supérieure à 1 500 mm étant préférable. La répartition des pluies est importante, car le cacaoyer supporte mal de longues périodes sèches de plus de 3 mois.

L'hygrométrie doit être constamment élevée (optimum 85 %).

3.3. Éclairement

Le cacaoyer jeune a une vigueur optimale lorsque l'éclairement est de l'ordre de 25 à 50 % de la lumière totale. Cet ombrage contribue de plus à protéger le sol tant qu'un couvert suffisant n'est pas assuré par le cacaoyer lui-même.

Lorsqu'ils se développent et que l'auto-ombrage devient trop important, l'ombrage doit être progressivement diminué pour laisser 70 % de la lumière d'autant plus rapidement que la densité de plantation est plus forte.

Dans des conditions parfaites de culture, l'ombrage constitue un frein à la production. Le rendement maximum d'un cacaoyer adulte ne peut être obtenu qu'avec une exposition totale à la lumière, quand il s'agit d'hybrides haut-amazoniens. Les Amelonado ouest-africains ont toujours besoin d'un ombrage léger.

Sous les climats à faible insolation, le cacaoyer prospère très bien en auto-ombrage après avoir été élevé jusqu'à son entrée en production en layons dégagés entre des haies vives de recrû naturel.

3.4. Sols

Ses propriétés physiques jouent un rôle plus important encore que ses propriétés chimiques.

Le sol idéal pour le cacaoyer devrait réaliser un compromis entre 2 exigences parfois contradictoires : assurer une bonne rétention en eau d'une part, être bien drainé et aéré d'autre part.

Le cacaoyer préfère des sols légèrement acides. Quant à la matière or-

ganique, une haute teneur de l'horizon de surface est essentielle pour une bonne croissance et une bonne productivité.

3.5. Altitude

Sous l'équateur, le cacaoyer peut pousser jusqu'à 1 400 m d'altitude (Plateau Ougandais). Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur, cette altitude décroît rapidement. A la latitude de 20-23° Nord ou Sud, limites pratiques de sa culture, seul le niveau de la mer convient.

En résumé, dans la grande majorité des cas, le cacaoyer demande des régions forestières, au climat chaud et humide, présentant une pluviométrie **sans saison sèche trop rigoureuse.**

4. CULTURE

4.1. Choix et préparation du terrain

Le terrain doit être plat ou à faible pente. Le sol profond, argilo-sableux, à bon pouvoir de rétention en eau pour assurer au cacaoyer une alimentation hydrique aussi constante que possible. Il est préférable de choisir un terrain de forêt.

La préparation consiste en un abattage total du couvert forestier et la plantation s'effectue soit sous recrû naturel, soit sous ombrage provisoire de bananiers ou d'arbustes à croissance rapide de la famille des légumineuses (*Gliricidia*).

Pendant les premières années, on laisse le recrû naturel constituer des haies vives entre les lignes de plantation, entretenues dégagées sur 1 m de large. Ces haies procurent aux jeunes cacaoyers un ombrage latéral suffisant. Elles sont réduites au fur et à mesure que le cacaoyer grandit et supprimées lorsque les couronnes sont jointives et assurent l'auto-ombrage.

En grande plantation, l'abattage mécanique de la forêt suivi d'un essouchage et d'un andainage doit être réalisé avec beaucoup de précautions, afin d'éviter un tassement du sol et un déplacement de l'horizon superficiel.

On peut utiliser comme ombrage, au début, des bananiers plantains, qui présentent l'avantage d'apporter un revenu monétaire non négligeable.

Dans le cas d'une replantation de vieille cacaoyère, les méthodes de replantation varient en fonction des conditions écologiques.

Sous un climat humide, sans saison sèche marquée, l'abattage total suivi de l'aménagement d'un ombrage provisoire de bananiers plantains, un an avant la plantation des cacaoyers, donne de bons résultats.

Dans les pays à faible pluviométrie où des risques de sécheresse sont à craindre, diverses méthodes ont été essayées :

a) la replantation sous vieille cacaoyère dans des layons de 1,50 m de largeur, suivie d'un abattage progressif des vieux cacaoyers en 3 ou 4 ans.
   Cette méthode a pour avantages :
   — de maintenir un revenu au paysan durant la période transitoire ;
   — de réduire le taux de mortalité des jeunes cacaoyers en saison sèche. Au Togo, ce taux se situe entre 5 % et 15 % contre 30 % et plus avec la méthode de replantation sous bananiers.

Les inconvénients principaux sont un développement très lent et un parasitisme important sur les jeunes cacaoyers, d'où un délai d'environ 6 à 7 ans pour l'entrée en production ;

b) les systèmes avec abattage partiel :

— l'abattage partiel en layons de 6 m, séparés par des bandes de 6 m où sont conservés les vieux cacaoyers.
La replantation s'effectue à l'espacement de 3 m x 2,50 m. Au bout de 4 ans, la bande de vieux cacaoyers est elle-même arrachée et replantée ;

— l'abattage partiel en bandes de 12 m alternant avec des bandes de 12 m de vieux cacaoyers avec une replantation en lignes jumelées (2 m x 2,50 m) espacées de 6 m (1 040 cacaoyers/ha, effectuée en deux temps, à 4 ans d'intervalle).

Ces méthodes de plantation en lignes jumelées permettent l'installation de cultures vivrières durant les premières années de la replantation.

Ces méthodes nouvelles de plantation en haie fruitière doivent encore être expérimentées avant de pouvoir être vulgarisées en milieu paysan.

4.2. La pépinière

Bien que la plupart des anciennes plantations actuelles aient été établies par semis directs en champ, cette méthode est à proscrire. L'élevage des semenceaux en pépinière assure un bien meilleur démarrage de la plantation. La pépinière est constituée par un abri admettant 50 % de la luminosité extérieure, avec protection latérale si cela s'avère nécessaire. Les fèves, dépourvues de leur mucilage, sont semées dans des sachets de polyéthylène perforés de 35 cm de hauteur, contenant de la bonne terre végétale de surface.

Le semis en pépinière ombragée se fait à la densité de 25 plants au m².



La fève est semée à 1,5 cm de profondeur, le hile vers le bas. Le hile correspond à l'attache de la fève au rachis de la cabosse. C'est la partie large de la fève. La pointe doit donc être vers le haut, car sinon le pivot sera tordu en cor de chasse. En cas de doute, il vaudrait mieux semer à plat.

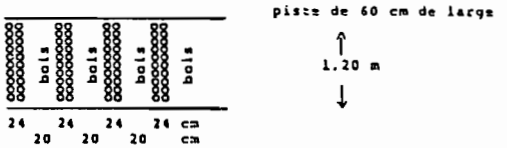


Il faut prévoir par hectare de plantation 2 000 plants compte tenu des pertes à la germination et en pépinière. Le semis se fait directement dans les sachets, car la germination commence vers le cinquième jour.

Il faut :

50 à 60 cabosses mûres.

80 m² de pépinière, en disposant les sachets en deux rangées de 10, séparées par un espace de 20 cm.



Les plants sont maintenus en pépinière pendant 6 à 7 mois.

4.3. La plantation

Les distances de plantation varient en fonction des facteurs suivants :
— la nature du sol (physique et chimique) ;
— les conditions climatiques ;
— les méthodes culturales qui seront appliquées.

Les écartements recommandés sont de :
- 2,5 m x 2,5 m au Cameroun, soit 1 600 pieds/ha parce que les sols sont très désaturés et que le développement des cacaoyers est moindre.
- 3 m x 2,50 m en Côte d'Ivoire, soit 2 333 pieds/ha.

L'espacement de 3 m x 3 m (1 111 pieds/ha) est utilisé dans de bonnes conditions de sol et de climat. il permet une circulation plus facile dans la plantation et, comparativement aux densités plus élevées, limite les pertes dues à la pourriture brune.

La mise en place des cacaoyers est effectuée après une trouaison à 40 cm au cube dans le but d'ameubler le sol.

Il faut apporter un soin particulier à l'aménagement de l'ombrage, qu'il soit temporaire (pendant les premières années de plantation) ou définitif, c'est-à-dire destiné à constituer le couvert de la plantation adulte. Si l'on plante des bananiers plantains, ceux-ci seront installés au cours de l'année précédant la plantation des cacaoyers, à raison d'un bananier par cacaoyer dans l'interligne de plantation, pour un espacement des cacaoyers de 3 m x 2,50 m, ou dans la ligne de plantation pour un espacement de 3 m x 3 m.

Il est recommandé d'utiliser les rejets de bananier sains, exempts de nématodes parasites (*Heterodera sp.* et *Pratilenchus musicola*) et de charançons (*Cosmolites sordidus*, ou borer du pseudo-tronc). Ces deux parasites peuvent être contrôlés par des nématicides tels que le carbofuran (efficace également contre le borer), ou pour le charançon par une immersion des rejets dans une émulsion à base d'Ardrine avant la plantation.

Dans les régions à faible pluviométrie où la concurrence hydrique des bananiers est à craindre, une meilleure reprise et un meilleur développement peuvent être obtenus grâce à la plantation avec film de polyéthylène noir d'un mètre de largeur et de 70 m d'épaisseur. Le prix de revient du film de polyéthylène correspond à environ 300 kg de cacao marchand dans les conditions économiques du Togo en 1987.

4.4. L'entretien

— Les pertes après la plantation peuvent atteindre 10 % ou plus en première année lorsque la saison sèche est sévère.
— Le remplacement des manquants doit être fait le plus vite possible et régulièrement pendant les deux premières années de culture.
— Le réglage de l'ombrage constitue sans aucun doute un des travaux d'entretien les plus importants d'une jeune plantation.
— Le travail du sol (labour ou sarclage) est à proscrire, même dans une jeune plantation.
— Le désherbage, ou rabattage du recrû, doit être régulièrement effectué le long des lignes de plantation sur une largeur de 1 m.
— L'emploi des herbicides dans les jeunes plantations est d'une grande effi-

cacité surtout si la main-d'œuvre fait défaut, mais il implique la pratique d'une alternance des produits suivant leur mode d'action : contact ou translocation, pour obtenir des résultats satisfaisants. Les herbicides les plus utilisés sont le paraquat (Gramoxone) à la dose de 1,5 l de produit commercial à 200 g/l dans 300 litres d'eau par hectare, et le glyphosate (Roundup) à raison de 3 litres de produit commercial + 10 kg de sulfate d'ammoniaque dans 300 l d'eau par hectare.

— Dans une plantation adulte bien établie, le tapis de feuilles mortes et l'ombrage du sol par les cacaoyers éliminent normalement toute végétation adventice.
— Les traitements phytosanitaires doivent être effectués régulièrement.

4.5. Taille

Taille de formation : tant que le bourgeon terminal continue sa croissance, il n'y a que les égourmandages. Ensuite, apparaît la couronne, c'est-à-dire que le bourgeon terminal émet des rameaux sub-horizontaux. Si la couronne est suffisamment haute (1,50 m ou plus), on continue à égourmander régulièrement tous les deux mois.

Par contre, si la couronne est trop basse (en dessous de 1,50 m), on conserve un gourmand qu'on laisse se développer au-dessus de la première couronne. Ce gourmand formera une nouvelle couronne à bonne hauteur. La première couronne, étant ombragée, dépérira et sera supprimée.

Taille d'entretien : égourmandages réguliers tous les deux mois. Éventuellement ablation des ramifications secondaires tombantes de la couronne, cette dernière devant être maintenue dans son intégrité (5 branches principales).

Taille du bois mort et taille sanitaire.

4.6. Fumure

L'utilisation des engrais, en culture cacaoyère, est encore très limitée. L'effet des engrais sur la production des cacaoyers dépend beaucoup des conditions de culture et de lumière. Sous ombrage permanent, les engrais sont rarement rentables. Par contre, sur des hybrides haut producteurs, convenablement entretenus et déparasités, cultivés en pleine lumière, les engrais sont très efficaces.

La méthode du « diagnostic sol » mise au point en Côte d'Ivoire (Jadin - IRCC) permet de calculer les besoins en engrais des cacaoyers. Elle est basée sur l'analyse chimique d'échantillons de l'horizon de surface (0 à 20 cm) du sol. Le principe est de corriger les déséquilibres dans un volume de sol correspondant à environ 25 % de la surface de la plantation. Les engrais sont apportés en surface, en couronne autour du tronc du cacaoyer.

Leur composition est calculée pour se rapprocher des équilibres suivants dans le sol :

— Rapport : azote total/P205 total : 1,5.
— Équilibre des bases échangeables avec l'azote total :
(N x 8,9) = (Somme des bases échangeables + 6,15)
— Équilibre des bases échangeables entre elles :
8 % K, 68 % Ca, 24 % Mg dans la somme des bases.

— Taux de saturation minimum de 60 %.

Un logiciel a été créé pour exécuter les calculs et donner les recommandations de fumure minérale, à partir des analyses du sol.

Le cacaoyer a rarement besoin d'azote. Par contre le phosphore augmente la floraison et par voie de conséquence la production de cabosses. La potasse améliore le taux de nouaison.

4.7. Multiplication végétative

Elle ne figure pas parmi les pratiques culturales courantes du cacaoyer.

Le bouturage et le greffage sont des méthodes de multiplication presque exclusivement utilisées par des organismes spécialisés pour constituer des jardins grainiers en hybridations interclonales.

En Asie du Sud-Est, l'écussonnage est souvent utilisé pour multiplier des clones d'élite et pour remplacer des couronnes attaquées par le V.S.D. (Vascular Streak Die-back), maladie cryptogamique.

4.8. Récolte et rendements

La maturité s'apprécie à la couleur des cabosses (jaune, orangée...). La récolte s'effectue donc à intervalles réguliers d'une quinzaine de jours, soit à la main, soit avec un outil spécial pour les cabosses les plus hautes.

L'entrée en production a lieu 5-6 ans après les semis, 3-4 ans après la mise en place en champ.

La pleine production est atteinte vers 5-7 ans.

En Afrique, les rendements moyens en cacao marchand sont de l'ordre de 300-400 kg.

En bonne plantation, on peut atteindre 1 t/ha et 2 et même 3 t avec les nouveaux hybrides et des engrais.

Le poids moyen d'une cabosse est de 400 g. Elle donne environ 35 à 40 g de fèves sèches ou cacao marchand.

Le rapport poids de fèves fraîches/poids de cabosses est voisin de 0,25.

5. MALADIES ET ENNEMIS

5.1. Insectes parasites

— Une famille d'insectes piqueurs, celle des mirides, domine de loin l'ensemble du groupe des insectes nuisibles aux cacaoyers.

Les mirides ont des morphologies assez diverses. On peut citer le groupe des *Helopeltis* (moustique du cacaoyer) et celui des *Sahlbergella, Distantiella* et *Monalonion* (poux du cacaoyer).

Les piqûres, principalement sur cabosses et jeunes rameaux, se traduisent par des nécroses pouvant entraîner la mort de ces derniers.

Faute de soins, toute la frondaison peut être détruite, parce que l'insecte inocule un champignon qui provoque des chancres de l'écorce. L'égourmandage est un moyen de lutte indirecte, car il prive les insectes d'une importante source de nourriture.

Le Lindane reste le produit le plus utilisé à la dose de 300 g de matière active par ha, dans environ 40 litres d'eau en atomisation ou bien en thermonébulisation, dilué dans 5 litres de gasoil.

— Depuis l'apparition d'une certaine résistance des mirides au Lindane (insecticide du groupe des organochlorés), une utilisation alternée de différents insecticides est recommandée. Outre le Lindane, les insecticides du groupe des carbamates tels que :

- l'Undene (m.a. = Propoxur),
- la Basudine (m.a. = Dianizon),

sont recommandés à la dose moyenne 300 g de m.a/ha.

Les traitements sont généralement effectuées en saison sèche, en deux passages, à 28 jours d'intervalle.

— Les punaises pentatomides (*Atelocera serrata* et *Bathycoelia ovalis*) provoquent des lésions, soit sur rameaux, soit sur cabosses.

— Les cochenilles ou coccides du cacaoyer sont responsables de la transmission de maladies à virus (Swollen Shoot).

— Le psylle du cacaoyer (*Mesohomotoma tessmanni*) sur jeunes pousses.

— Les cicadelles sur jeunes pousses.

— Les coléoptères borers des tiges.

— Les coléoptères et les lépidoptères défoliateurs.

— Les déprédateurs du bourgeon terminal.

— La chenille mineuse des troncs et des branches.

— La chenille des cabosses.

— Les chenilles mineuses des cabosses.

— Le thrips du cacaoyer qui attaque les feuilles et les fait tomber.

— Les fourmis.

5.2. Principales maladies cryptogamiques

— La **pourriture brune** des cabosses due à *Phytophtora palmivora*, ou *Phyt. megakarya*, souche plus virulente qui sévit surtout au Cameroun. Cette maladie est la plus ancienne et la plus importante de toutes les maladies du cacaoyer.

Pour lutter, il est essentiel de limiter le plus possible les sources de contamination et partout où sévit la maladie, on devra :

— éliminer de la plantation les débris de cabosses provenant de la récolte,

— éliminer des arbres avant la saison des pluies, la totalité des chérelles et cabosses desséchées qui subsistent de la précédente récolte,

— cueillir et éliminer régulièrement (tous les 8 jours en saison des pluies) toutes les chérelles et cabosses présentant une tache montrant le début d'une attaque.

Ces précautions doivent être complétées par des traitements chimiques. On recommande des pulvérisations de bouillies aqueuses, à raison de 10 traitements annuels au cours de la saison pluvieuse, soit de produits cupriques, notamment les formulations commerciales titrant 50 % de cuivre de l'oxychlorure tétracuivrique à la dose de 1 à 1,5 %, c'est-à-dire 15 à 20 kg à l'hectare suivant les rendements, soit d'orthodifolatan, produit organique de synthèse, titrant 80 % de matière active, à la dose de 0,3 %, c'est-à-dire de 6 à 8 kg à l'hectare suivant les rendements. Plus récemment, on a constaté l'efficacité de 8 traitements à 21 jours d'intervalle avec du métalaxyl (Ridomil 25) à 20 g de produit

commercial pour 10 litres d'eau, et des mélanges métalaxyl-cuivre pour éviter l'apparition de souches résistantes au *Phytophthora*.

Actuellement, des recherches sont en cours sur des variétés résistantes de cacaoyers.

Trois maladies rencontrées uniquement sur le continent américain :

— la **moniliose** ou pourriture des cabosses due à *Monilia roreri*,

— la **maladie du balai de sorcière** due à *Crinipellis perniciosa*,

— le **mal de machete** ou mort subite du cacaoyer dû à *Ceratocystis fimbriata*.

En outre, les cacaoyers peuvent être attaqués par :

— les **pourridiés des racines,**

— la **gale des coussinets floraux**,

— la **trachéomycose**.

5.3. Maladies à virus

La plus importante est en Afrique, le swollen shoot. La transmission se fait par des cochenilles. Les symptômes caractéristiques de la maladie sont les gonflements plus ou moins prononcés de certains rameaux. Les feuilles deviennent chlorotiques et l'arbre improductif.

La lutte se fait par :

— destruction des insectes vecteurs,

— suppression des arbres porteurs de virus.

Les recherches en cours au Togo ont pour but de mettre à la disposition des planteurs des cacaoyers tolérants au virus du swollen shoot.

Tous ces parasites et maladies mettent en évidence la nécessité d'une réglementation phytosanitaire internationale concernant les échanges de matériel végétal - ainsi que la création de stations de quarantaine.

5.4. Autres parasites

Les rats et les écureuils rongent les cabosses et peuvent entraîner des pertes de plus de 50 % de la récolte. Les singes sont également friands des cabosses mûres.

Enfin, certaines plantes parasitent les cacaoyers, surtout les *Loranthus*. Il faut les supprimer par la taille.

6. TECHNOLOGIE

6.1. Préparation du cacao

Après la récolte a lieu l'écabossage, opération qui consiste à casser les cabosses et à en extraire les fèves. L'écabossage est généralement effectué à la main.

6.1.1. LA FERMENTATION

On désigne par fermentation l'ensemble des opérations au cours desquelles un processus complexe va se développer. Ce processus comporte :

— des fermentations proprement dites provoquées par des micro-organismes et intéressant la pulpe,

— des réactions internes contrôlées par les enzymes contenus dans les cotylédons.

Ces modifications ont pour conséquence de diminuer l'amertume et l'astringence et de permettre le développement des « précurseurs » de l'arôme, substances non encore identifiées mais dont la présence est indispensable pour que les fèves de cacao puissent manifester, après torréfaction, l'arôme caractéristique (« chocolat »).

La fermentation peut se faire en tas, en paniers ou en bacs. En ce qui concerne la pulpe, les sucres qu'elle contient sont transformés sous l'action de micro-organismes, en alcool éthylique avec dégagement de CO_2. Cette fermentation alcoolique provoque une élévation de température puis l'alcool éthylique se transforme par oxydation en acide acétique.

Une température de 44° à 47° C (atteinte en 48 heures) est considérée comme satisfaisante. Elle est responsable de la mort des fèves et par conséquent du début des réactions enzymatiques dans les tissus des cotylédons.

La fermentation (pour les « Trinitario » et les « Forastero ») dure de 6 à 7 jours, pour 80 kg de fèves fraîches. Un brassage après les premières 24 heures permet d'obtenir une élévation plus rapide de la température et une meilleure homogénéisation de la masse en fermentation. Ensuite, on brasse toutes les 48 heures.

6.1.2. LE SÉCHAGE

Il a pour but de ramener la teneur en humidité des fèves fermentées de 60 à 6-7 %.

Le séchage peut être :

— naturel (solaire) : il demande alors de 8 à 15 jours dans des « séchoirs autobus ».
Pour améliorer la qualité et l'aspect extérieur des fèves, le cacao est remué aux pieds (on parle de « danse du cacao »).

— artificiel : il permet de réaliser une grande économie de temps et de main-d'œuvre.

6.1.3. LE STOCKAGE

Il a une très grande influence sur la qualité du cacao. Les fèves fermentées et séchées doivent avant tout être gardées bien sèches.

Le chiffre de 8 % est généralement admis comme représentant la teneur en eau maximum au-dessous de laquelle les moisissures ne peuvent se développer.

Il faut en plus se protéger contre les insectes parasites des stocks et éviter les odeurs de fumée ou cendres.

6.2. Qualités demandées au cacao

L'industriel chocolatier souhaite trouver un produit :

— aussi sec que possible,

— aussi riche que possible en matières grasses,

— de granulométrie aussi homogène que possible,

— qui lui permette d'obtenir, après torréfaction, la flaveur caractéristique du chocolat.

Toutes les opérations telles que récolte, fermentation, séchage et stockage ont une influence sur la qualité future du cacao. Il en est de même pour l'origine botanique, les conditions climatiques, l'état sanitaire des plantations.

Il existe naturellement plusieurs méthodes pour juger de la qualité du cacao ainsi que des normes de classement.

Le classement de la F.A.O. est maintenant le plus employé. Le cacao est classé d'après le nombre de fèves défectueuses, les tolérances étant les suivantes :

	1re qualité	2e qualité
Fèves moisies	3 %	4 %
Fèves ardoisées	3 %	8 %
Fèves défectueuses	3 %	6 %

Tout cacao qui n'atteint pas les normes de la 2e qualité doit être considéré comme « hors classement ».

Les fèves défectueuses sont par ordre de gravité des défauts :

— moisies,

— ardoisées,

— autres défauts : attaquées par des insectes, germées, plates.

Le comptage se fait par l'épreuve à la coupe.

6.3. Industrie du cacao et du chocolat

6.3.1. LES PRODUITS DE FABRICATION

On distingue la pâte de cacao, la poudre de cacao, la poudre de cacao solubilisée, le beurre de cacao, les chocolats : en poudre (cacao sucré), de ménage (à cuire), à croquer, fondant au lait, aux noisettes ou aux amandes broyées.

Fabrication de la pâte de cacao

Les fèves subissent un nettoyage et un triage, puis une torréfaction qui développe les principes aromatiques donnant au chocolat sa flaveur caractéristique.

Ensuite, après concassage et décorticage, on effectue un broyage du cacao : on obtient, à 50-70 %, par fusion, une pâte fluide, qui peut servir à la production du beurre de cacao et de la poudre de cacao.

Le chocolat est un mélange de pâte de cacao et de sucre additionné ou non de beurre de cacao, et éventuellement d'aromates.

6.3.2. VALEUR ALIMENTAIRE DU CHOCOLAT

Le chocolat contient :

— 64 % de glucides (saccharose et amidon)

— 22 % de lipides (beurre de cacao)

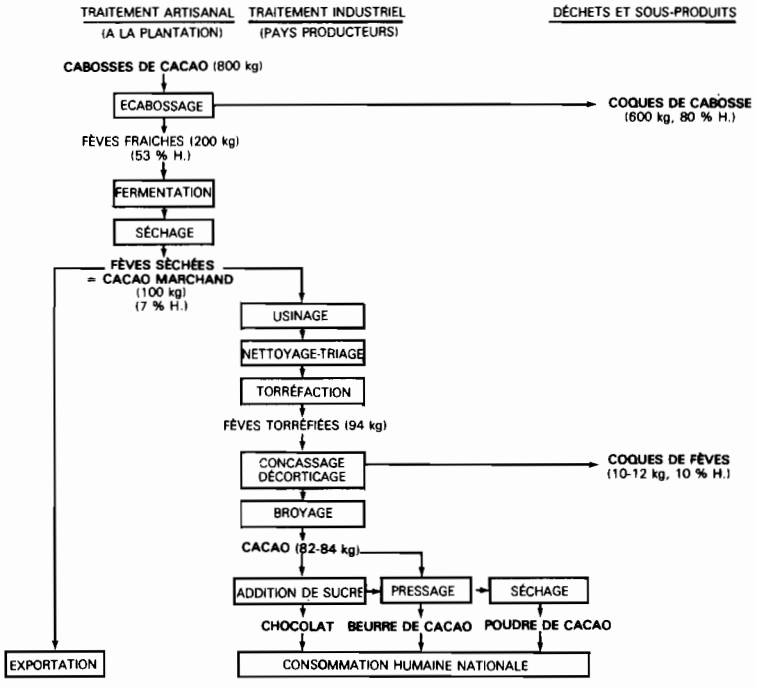
— 6 % de protéines

— 4 % de sels minéraux.

Sa valeur énergétique est élevée : 500 calories pour 100 g.

Par la théobromine qu'il contient (0,4 %) (et aussi un peu par la caféine), le chocolat est un stimulant, sans toutefois avoir les effets excitants du café et du thé.

CACAOYER
SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



H. : Humidité (sur poids total)

6.4. Résultats

— poids fèves fraîches/poids de cabosses = 0,25
— poids fèves fermentées/poids fèves fraîches = 0,86
— poids de cacao sec/poids fèves fraîches = 0,44
— poids de cacao sec/poids fèves fermentées = 0,51
— poids de cacao sec/poids de cabosses = 0,11.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (en jt/ha) dans 1 ha de cacaoyers

Densité de plantation : 1 333 pieds/ha (3 m x 2,50 m)
Ombrage provisoire à la même densité (bananiers, *Gliricidia*, ...)

PÉPINIÈRES (80 m² pour 2 000 plants)

Ombrière	4
Plates-bandes	2
Approvisionnement terre (5,6 m³)	6 sacs 12 cm diamètre et 25 cm hauteur
Remplissage sacs (300/jour)	7 (mélanger terre avec fumier ou compost)
Semis des fèves	2
Entretien - arrosages (6 mois)	25 (et engrais si nécessaire)
Total	46 journées

PRÉPARATION PLANTATION EN MOYENNE FORÊT

Délimitation	3
Abattage sous-bois	13-20
Abattage-tronçonnage	50 (avec scies mécaniques)
Andainage	50-66 (pas de brûlis)
Pistes de 6 m de large (150 m/ha)	60 (mécanisation possible)

Piquetage pour cacaoyers :		Piquetage pour ombrage provisoire			
		Bananiers		***Gliricidia***	
coupe piquets (200/jour)	7	piquets	7	boutures	7
piquetage	14	piquetage	7	plantation	14
réalignement après trouaison	7				
Trouaison (40 cm au cube)	27-34	pas de trouaison			
Rebouchage	7				
Totaux	238-268 j		14 j		21 j

PLANTATION DES CACAOYERS		DES BANANIERS		DES GLIRICIDIA	
Désherbage préalable	8	idem	8	plantation terminée	
Transport plants	10	idem	10		
Plantation	18	idem	27 (avec trouaison)		
Abris feuilles de palme	18	nématicide	3		
Contrôle et remplts (10 %)	8	idem	5		
Totaux	62 journées		53 journées		0 journée

Note : désherbage préalable avec herbicides : 2 journées au lieu de 8.

ENTRETIENS

Trois premières années

Désherbage - 7 fauchages	42 journées
Égourmandages et tailles (6 passages)	16 journées
Traitements insecticides (4 passages)	8 journées
Engrais - 3 épandages	6 journées
Herbicides - 6 passages	12 journées
+ détourages et lianes	10 journées
Récolte des bananes	16 journées
Eclaircies rejets bananiers (3 passages/an)	9 journées

Plantation fermée

Désherbage - 4 passages	16 journées
Égourmand. taille (8 passages)	8 journées
Traitements insecticides	8 journées (2 doubles passages si nécessaire)
Traitements fongicides	p.m. (suivant nécessité)
Engrais - 3 épandages	6 journées
Recépage bananiers	4 journées

RÉCOLTE - FERMENTATION - SÉCHAGE

Par tonne de **cacao marchand**

Récolte - cueillette : 650 cabosses/jour, soit	44 journées
cassage : 2 000 cabosses/jour, soit	14 journées
Fermentation et séchage :	16 journées

7.2. Production cacao (Fèves) d'après Gill et Duffus en milliers de tonnes

	70/71	72/73	74/75	76/77	83/84	84/85	85/86
Afrique	1098	1029	1009	849	851	1078	1074
Amérique	357	329	481	430	502	703	644
Asie et Océanie	44	40	57	61	152	176	212
Production mondiale	1499	1398	1547	1340	1505	1957	1930

Rang des 6 principaux producteurs

	70/71	72/73	74/75	76/77	83/84	84/85	85/86
Ghana	392	418	377	320	159	175	215
Nigeria	308	241	214	165	118	155	100
Brésil	182	162	273	234	303	406	375
Côte d'Ivoire	180	181	242	230	405	565	475
Cameroun	112	107	118	82	109	120	115
Malaisie	2,5	4,5	12	21	90	97	125

7.3. Commerce de fèves de cacao 1985 (en milliers de tonnes)

Rang	PAYS	Importation	PAYS	Exportation
1	USA	270,5	Côte d'Ivoire	445,0 F
2	Pays-Bas	230,5	Ghana	172,5
3	R.F.A.	220,0	Brésil	171,5
4	URSS	155,0	Nigeria	100,0
5	Royaume-Uni	96,5	Cameroun	88,5

F = estimation FAO

CAFÉIER

Rubiacée **Coffee**
Coffea **Café**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le caféier est cultivé pour ses fruits qui donnent les « grains de café ». Après avoir été torréfiés, ces grains servent à préparer une boisson connue dans la quasi-totalité du monde. De nos jours, on prépare de plus en plus, toujours à partir des grains de café, des cafés en poudre solubles donnant des boissons instantanées.

Le café sert à parfumer les pâtisseries, les glaces, etc.

Les pulpes des fruits, sèches ou fraîches, servent d'engrais organique ou d'aliment du bétail. On note aussi une valeur calorifique intéressante de la parche et des coques sèches.

Les tannins contenus dans la pulpe peuvent servir à tanner les cuirs. La pulpe, riche en hydrate de carbone, peut servir à préparer des huiles essentielles pour la parfumerie.

2. BOTANIQUE

2.1. Description et différentes variétés

Les caféiers ont une origine africaine. On en connaît actuellement plus d'une centaine d'espèces, mais deux d'entre elles seulement sont cultivées et approvisionnent le monde : *Coffea arabica L.* et *C. canephora Pierre*.

Le caféier *C. arabica*, le plus anciennement connu, est le plus répandu. Toute la production américaine (Amérique Centrale et Amérique du Sud), représentant plus de 60 % de la production mondiale, en est issue.

Le caféier Robusta appartient à l'espèce *C. canephora*, la plus largement cultivée en Afrique tropicale.

Le caféier est un arbuste à feuillage persistant de 8 à 12 m de hauteur à l'état

sylvestre. Il porte des rameaux opposés et flexueux, sur lesquels se développent feuilles, fleurs et fruits.

Le fruit est une drupe, communément appelée cerise, de forme subglobuleuse, rouge à maturité, atteignant selon les espèces 8 à 15 mm de hauteur.

Chaque fruit mûr est constitué d'un exocarpe (peau), d'un mésocarpe charnu, blanc-jaunâtre (pulpe) et de deux graines accolées par leur face plane. Lorsque l'un des deux ovules avorte, l'autre occupe toute la place disponible ; sa forme est alors ovoïde. On donne commercialement à ces graines le nom de « caracoli » (l'appellation de « moka » est impropre). Chaque graine est protégée par deux enveloppes : la première, l'endocarpe, est mince et de texture scléreuse (parche) ; la seconde, le périsperme, est une très fine membrane (pellicule ou pellicule argentée), plus ou moins adhérente à la graine. Celle-ci (la fève en langage commercial) est de couleur gris-jaunâtre à gris-ardoisé, selon les variétés, le mode de préparation, le milieu et le temps de conservation. Elle est constituée d'un albumen corné, à surface lisse, dont la face plane est creusée, selon son grand axe, par un sillon plus ou moins rectiligne ; l'embryon est situé à la base.

Les dimensions et la forme des graines diffèrent avec les variétés, les conditions du milieu et de culture ; elles ont, en moyenne, 10 mm de longueur, 6 à 7 mm de largeur et 3 à 4 mm d'épaisseur ; leur poids oscille autour de 0,15 à 0,20 g.

C. arabica est originaire non de l'Arabie comme sa dénomination le laisserait supposer mais de l'Ethiopie (Abyssinie), où il existe sur les hauts plateaux (1 300 à 1 900 m d'altitude) de très importants peuplements de cette espèce.

Ce caféier tétraploïde, par sa nature autogame (auto-fertile), a des caractères relativement homogènes. Il a cependant donné naissance à un certain nombre de variétés : typica, maragogype, bourbon.

Une grande partie des plantations brésiliennes est composée de lignes sélectionnées de variété Bourbon appréciée pour sa productivité et sa qualité. Celle-ci par croisement naturel avec une variété de *C. Arabica*, importée au Brésil à la fin du siècle dernier, aurait donné le « Mondo Novo » dont les lignées sélectionnées par l'Institut agronomique de Campinas et vulgarisées ont des qualités extraordinaires au point de vue robustesse, vigueur et surtout productivité.

Les variétés naines (*Caturra*), hybrides naines (*Catuai* = *Caturra* x Mondo Novo) notamment, intéressent par leurs possibilités de hauts rendements en culture à haute densité, ainsi que les variétés en hybrides (*Catimor* = *Caturra* x Hybride de Timor) résistants à la rouille orangée des feuilles (qui a envahi le continent américain depuis 1970), ou à l'anthracnose des baies (quelques variétés éthiopiennes en cours de sélection en Afrique orientale).

L'espèce *C. canephora* occupe la deuxième place dans le monde. Sa culture est surtout pratiquée en Afrique et en Indonésie. Actuellement, on peut admettre qu'elle produit le tiers du café consommé dans le monde.

Le *C. canephora* a été découvert en Afrique vers la fin du siècle dernier. Son aire naturelle de dispersion est subéquatoriale.

D'une façon générale, comparé au *C. arabica*, le *C. canephora* est d'une croissance plus vigoureuse et d'une productivité plus grande ; l'espèce est aussi plus robuste et moins sensible aux maladies, notamment à la rouille. Les

caractéristiques organoleptiques du breuvage, bien que différentes de celles de l'Arabica, sont de plus en plus appréciées par les consommateurs et pour la fabrication des cafés solubles.

On notera que la teneur en alcaloïde, la caféine, de cette espèce est supérieure à celle de *C. arabica* (2,0 à 2,5 % contre 1,2 à 1,6 %).

Au plan génétique, on soulignera que *C. canephora* à l'inverse de *C. arabica*, est allogame (ou auto-stérile) et diploïde.

L'espèce *C. canephora* groupe les Robusta, les Kouillou, les Niaouli, etc., caféiers à l'extraordinaire polymorphisme, mais apparentés par un certain nombre de caractères communs.

La variété cultivée la plus répandue dans le monde est le Robusta qui constitue au moins 90 % des plantations de *C. canephora*. Sa culture a pris une extension considérable, non seulement en Afrique (Côte d'Ivoire, Congo, Cameroun, Ouganda, Angola, etc.) mais aussi en Extrême-Orient (Indes, Indonésie, etc.) et en Océanie (Nouvelle-Calédonie, etc.).

Très proche du Robusta se place la variété Kouillou (ou Qouillou), spontanée au Congo, au Gabon, en Côte d'Ivoire, etc. Au point de vue commercial, la petitesse des fèves constitue cependant un handicap pour sa diffusion. Sa culture est également pratiquée à Madagascar (avec celle du Robusta), en Guinée, etc.

Les deux grandes espèces *C. arabica* et *C. canephora* fournissent au moins 98 % des récoltes mondiales.

Depuis une quinzaine d'années, l'Institut Français du Café et du Cacao (IFCC) poursuit des recherches sur un hybride « Arabica x Canephora » associant les qualités gustatives de l'Arabica aux aptitudes du Canephora à prospérer dans les régions basses chaudes et humides.

Il a d'abord fallu doubler le nombre chromosomique des Canephora (diploïde), l'Arabica étant tétraploïde.

Les premiers caféiers hybrides ont été plantés en 1967 à Bingerville (Côte d'Ivoire).

Ce matériel nouveau a reçu le nom d'Arabusta. Sa sélection et l'expérimentation phytotechnique se poursuivent.

2.2. Biologie du caféier

Le caféier se multiplie naturellement par ses graines ; c'est le mode habituel de propagation. On peut aussi le multiplier par bouturage, par greffage et même par marcottage.

La graine est constituée par un albumen corné entouré par deux enveloppes : la première est l'endocarpe (parche) du fruit (drupe) ; la seconde, très fine, est le tégument séminal (pellicule).

La graine mûre, saine et bien constituée nue ou vêtue de sa parche, peut germer dès sa récolte (absence de période de dormance) si elle est placée dans des conditions satisfaisantes de milieu : humidité, température (25 à 30° C), aération.

Les premières ramifications plagiotropes du jeune caféier apparaissent après la levée, lorsque le plant a de cinq à onze paires de feuilles (0,20 à 0,30 m de hauteur).

Ces rameaux « primaires » portent des bourgeons à chaque noeud qui

évoluent soit en rameaux plagiotropes secondaires, soit en boutons floraux. Les rameaux « secondaires » peuvent à leur tour donner des rameaux « tertiaires ».

A l'âge de deux ans, le caféier atteint près d'un mètre de hauteur ; vers la troisième ou la quatrième année (1,50/1,75 m environ de hauteur), il fleurit et entre dans la période de sa vie productive.

L'inflorescence du caféier est une cyme à axe très court, qui porte un nombre variable de fleurs (2 à 9 chez *C. arabica*, 3 à 5 chez l'Excelsa, etc.) ; plusieurs inflorescences sont groupées en glomérules plus ou moins fournis.

Les fleurs se forment en principe sur le bois jeune à peine aoûté (un an), après la maturité de floraison (un à trois ans).

Le temps qui s'écoule entre la floraison et la maturation des fruits est variable. On compte en moyenne :

C. Arabica 6 à 8 mois

C. Canephora 9 à 11 mois

A pleine maturité, les fruits sont de couleur rouge ; c'est à ce stade qu'ils doivent être cueillis. Ceci est particulièrement important pour l'espèce *C. arabica* dont les fruits mûrs tombent assez rapidement, contrairement à ceux de *C. canephora* qui restent attachés plusieurs semaines.

L'importance de la fructification est liée à divers facteurs : hérédité, âge, conditions climatiques, soins culturaux, etc. Aussi peut-elle varier considérablement d'une année à l'autre. Indépendamment de ces influences, on a constaté qu'en culture traditionnelle le caféier était soumis à un alternat de productions, une année de forte récolte succédant à une année de petite récolte. Mais on notera que les écarts de cet alternat tendraient à diminuer dans les plantations bien entretenues, et surtout largement fertilisées. De même, ils sont considérablement atténués dans les plantations clonales à haute productivité recevant de hautes doses d'engrais.

La période de pleine productivité du caféier est plus ou moins longue.

Les premiers signes de fatigue se manifestent normalement après quinze à vingt années de fructification.

3. ÉCOLOGIE

3.1. Climat

C. arabica. - Les peuplements naturels de l'espèce se trouvent en Éthiopie, dans la zone des hauts plateaux, comprise entre 1 300 et 1 800 m d'altitude. Cette région est marquée par une saison sèche de quatre à cinq mois et un total de précipitations d'environ 1 500 à 1 800 mm. La température moyenne est de l'ordre de 20 à 25° C avec des extrêmes bas de +4 à +5° C et hauts de 30 à 31° C. Il s'agit d'un climat tropical tempéré par l'altitude, à saisons contrastées.

Ceci permet d'expliquer les difficultés rencontrées pour cultiver cette espèce dans les régions tropicales basses, à chaleur et à humidité excessives ou à régime pluviométrique très différent, soit par l'abondance des précipitations, soit par suite de leur mauvaise répartition saisonnière. Toutes les tentatives faites en basse Côte d'Ivoire, dans le bassin du Congo, etc., se sont soldées par un échec. L'expérience a démontré que, dans les régions inter-tropicales, l'espèce ne pouvait prospérer et fructifier normalement que dans les zones où la conjugaison

du relief et de la latitude apportait les correctifs indispensables à ces facteurs défavorables. C'est le cas, par exemple, en Afrique orientale (Kenya, Tanzanie, etc.) où les plantations s'étagent entre 1 300 et 2 100 m d'altitude, en Afrique occidentale, sur les hauts plateaux du Cameroun, etc. Au Brésil, la grande zone caféière est située dans les États de Sao Paulo et du Parana ; l'altitude est moindre (600 à 800 m), mais elle est compensée par une position géographique sous basses latitudes (20 à 23° sud).

C. canephora. - Cette espèce trouve son plein épanouissement sous le climat équatorial-type : température moyenne de 24 à 26°C, sans grande amplitude de variations ; pluies abondantes (1 500 mm au moins), réparties sur neuf à dix mois de l'année ; humidité atmosphérique à un taux permanent voisin de la saturation.

3.1.1. TEMPÉRATURE

D'une façon générale, c'est un des facteurs limitants pour la vie du caféier, car aucune espèce de Coffea ne résiste longtemps à une température avoisinant 0° C. Encore faut-il faire une distinction entre l'Arabica et les autres espèces ; le premier, par son origine, étant beaucoup mieux apte à supporter des écarts de températures, à la condition toutefois que celles-ci n'atteignent pas des chiffres trop bas ou trop élevés (4 à 5° C ; 30-31° C).

Le *C. canephora* s'accommode beaucoup plus mal que l'Arabica des basses températures. Les troubles se manifestent dès que celles-ci atteignent + 8 à + 10 ° C et les caféiers périssent bien avant le point de gelée. Les températures élevées leur sont aussi néfastes, surtout en atmosphère insuffisamment chargée en humidité.

Les températures moyennes les plus favorables se situent entre 22° C et 26° C sans écarts journaliers très marqués.

3.1.2. PLUVIOMÉTRIE ET L'HYGROMÉTRIE ATMOSPHÈRIQUE

C'est, après la température ambiante, le facteur climatique limitant le plus important. Deux éléments, indissolublement liés, sont à considérer : la hauteur totale des précipitations dans l'année et leur répartition mensuelle, voire hebdomadaire (régime pluviométrique).

On estime généralement que le caféier prospère particulièrement bien dans les régions où les précipitations atteignent 1 500 à 1 800 mm par an, avec un régime comportant quelques mois peu pluvieux ou de relative sécheresse correspondant à la période de repos végétatif précédant la grande floraison.

Au-dessous de 800 à 1 000 mm de précipitations annuelles, même bien réparties, la caféiculture devient aléatoire et la productivité fluctuante.

Les Canéphoroïdes s'accommodent bien de précipitations très abondantes, supérieures à 2 000 mm par an (Sumatra, Malaisie, etc.).

L'humidité atmosphérique a une influence très marquée sur la végétation du caféier, plus particulièrement chez les espèces autres que *C. arabica* qui, lui, préfère une ambiance moins humide, comparable à celle des hauts plateaux subtempérés éthiopiens.

3.1.3. ÉCLAIREMENT

Dans son habitat naturel, le caféier se rencontre dans des situations ombragées ou semi-ombragées. Son comportement à l'égard de la lumière l'a

fait longtemps considérer comme une plante héliophobe, exigeant en plantation un haut couvert plus ou moins dense.

Cette pratique de l'ombrage, longtemps controversée, est aujourd'hui généralement en voie d'abandon et les caféiers sont susceptibles en culture intensive, sans ombrage, de donner des rendements plus élevés.

3.2. Sols

Le caféier ne semble pas avoir d'exigences bien définies en ce qui concerne la nature des sols.

La réaction acide du sol ($4,5 < pH < 6,5$) est un facteur favorable au bon développement de l'arbuste.

La texture du sol et sa profondeur ont, par contre, une grande importance. Le caféier a, en effet, la faculté de donner à son système racinaire une extension considérable. Ce caractère lui permet d'exploiter un volume de terre important et de pallier ainsi une pauvreté relative en éléments fertilisants.

4. CULTURE DU CAFÉIER

4.1. Multiplication

4.1.1. SEMIS

Les graines destinées au semis doivent provenir de fruits sains, récoltés à bonne maturité sur des arbustes de préférence adultes. Les fruits sont dépulpés à la main aussitôt après leur cueillette. Les graines en parche sont mises à sécher sur des claies, dans un endroit ombragé et ventilé. Elles sont ensuite triées.

La graine de caféier est apte à germer dès qu'elle a été récoltée, mais sa faculté germinative est d'assez courte durée (≤ 4 mois) ; elle doit donc être mise en terre sans trop tarder. On peut s'assurer de la valeur des semences en procédant périodiquement à des tests de germination.

Un kilogramme de graines contient environ :

C. arabica 2 000 à 2 200 bonnes semences

C. canephora 2 500 à 2 750 bonnes semences.

Dans tous les cas les semences seront conservées dans leur parche. Cette enveloppe constitue une bonne protection contre les agents extérieurs, et en particulier contre l'humidité ambiante.

Le semis en germoir est la méthode la plus rationnelle.

Pour l'espèce Canephora, du fait de l'autostérilité, la reproduction par graine comporte un inconvénient majeur : l'impossibilité d'obtenir des plantations homogènes car la graine a obligatoirement certains caractères qui sont différents de ceux du pied sur lequel on l'a récoltée.

— **Le germoir** est constitué par des planches de terreau où les graines sont placées face plate contre terre, à 2 à 3 cm en tous sens, à 1 à 2 cm de profondeur, sous paillis ; 1 000 graines au mètre carré (ou 250 g en parche), 1,75 à 2 m² par hectare de plantation. Germination en 1 mois (température optimum 30-35° C), ombrage indispensable.

Les plantules élevées en germoir peuvent être repiquées dès l'épanouis-

sement des feuilles cotylédonaires, après un tri sévère et l'élimination rigoureuse des sujets chétifs.

— **La pépinière** est disposée en planches de 1,20 à 1,50 m, sol bien préparé, sans débris ni cailloux sur 40 cm de profondeur, copieusement fumé. On y dispose les plantules issues du germoir à 4-6 semaines à 20 cm en tous sens après triage (élimination des pivots non rectilignes). 1,25 are par hectare à planter. Veiller à ce que les pivots ne soient pas courbés à la mise en place et à la bonne position du collet. Ombrager, réduire l'ombrage quand les plantules se développent pour éviter le "filage". Arroser régulièrement, sans trop ; sarclages.

La durée du séjour des plants en pépinière varie avec l'espèce cultivée, l'époque de plantation, les conditions climatiques. Habituellement, elle est d'environ douze à quinze mois pour les Arabica et de six à huit mois pour les Robusta, à la végétation plus vigoureuse.

On utilise actuellement de plus en plus les sachets en polyéthylène pour l'élevage des jeunes caféiers.

L'usage de ces sachets offre de nombreux avantages, notamment celui d'une transplantation facile et d'une meilleure reprise.

4.1.2. BOUTURAGE

La technique du bouturage du caféier est étudiée depuis au moins une vingtaine d'années : elle est maintenant bien au point et donne des résultats spectaculaires, particulièrement avec l'espèce *C. canephora*.

L'intérêt de cette technique de multiplication réside dans la reproduction fidèle du caféier sur lequel on a prélevé les boutures (tête de clone) et la possibilité ainsi de créer des plantations clonales très homogènes, à partir de sujets repérés pour leurs caractères et notamment leur productivité.

Lorsqu'on réalise une plantation de Canephora à partir de boutures, il est indispensable d'utiliser au moins 2 clones différents, sinon, du fait de l'autostérilité à l'intérieur d'un même clone, la production sera nulle.

Seules les pousses orthotropes ou rameaux d'élongation à développement vertical (gourmands) peuvent être utilisées pour reconstituer un arbuste de port normal.

Les boutures, prélevées sur des arbustes arqués, élevés spécialement en **parc à bois**, sont placées dans des bacs, dits **bacs de bouturage** ou **propagateurs**.

L'aptitude au bouturage varie avec les espèces et même les variétés. Les Canephora se bouturent très facilement, avec un taux de réussite variant entre les clones, de 70 % à près de 100 % ; le bouturage de l'Arabica exige plus de soins.

La durée du séjour des boutures en propagateurs doit être suffisante pour que celles-ci soient bien racinées.

Avec les caféiers Canephora, on estime qu'il faut de huit à douze semaines.

Les boutures triées à la sortie des bacs sont ensuite repiquées avec beaucoup de soins en pépinières ou en sacs plastique sous ombrière.

Les plants sont suffisamment développés pour être mis en place généralement huit à dix mois après le repiquage ; ils (*C. canephora*) ont alors six à huit paires de feuilles et portent une à deux paires de rameaux. Compte tenu

des pertes qui peuvent se produire en ombrière, on considère comme satisfaisant un rendement final de 80 %.

4.2. Plantation

Les caféiers sont habituellement établis sur terrain forestier.

Les densités moyennes les plus pratiquées sont les suivantes :

C. arabica 2 x 2 m à 3 x 3 m

C. canephora 2,50 x 2,50 m à 2,50 m x 4 m.

Depuis une vingtaine d'années, la densité des plantations s'est sensiblement relevée. La notion de rendement calculé à l'hectare (et non par arbuste) est à la base de la révision des anciennes conceptions. C'est ainsi que pour le Robusta, alors qu'une densité de 1 000 pieds à l'hectare était normale, aujourd'hui celle-ci est couramment de 1 300 à 1 500 et même 1 600 caféiers : pour les variétés naines d'Arabica, cette densité peut même aller jusqu'à 10 000 pieds à l'hectare (1 m x 1 m).

Les dimensions à donner aux fosses de plantation doivent être calculées en fonction de la nature et de la fertilité du sol et du développement racinaire des jeunes plants.

Les dimensions moyennes à adopter ne devraient, en aucun cas, être inférieures à 0,40 m de côté et 0,40 m de profondeur.

La mise en place des jeunes plants ne requiert pas de technicité particulière.

Les plants en motte sont enlevés de la pépinière après un arrosage copieux et la terre est maintenue en place autour des racines avec des feuilles de bananier liées ou de la paille tressée. Les caféiers sont transportés sur des civières ou dans des caisses et mis en place tels quels.

La mise en place des caféiers élevés en paniers, en "tentes" ou en godets de fibres végétales est très simple : il suffit de les enterrer avec les précautions d'usage. La décomposition des paniers est très rapide et ne gêne absolument pas le développement racinaire.

Il en est tout autrement des sacs en polyéthylène, imputrescibles, utilisés couramment actuellement, qui doivent être fendus longitudinalement et largement ouverts à la partie inférieure.

L'époque la plus favorable pour la transplantation correspond au début de la saison pluvieuse, quelques semaines après les premières pluies, lorsque l'air est suffisamment chargé d'humidité.

En régions ensoleillées, les jeunes caféiers doivent être abrités pendant deux à trois semaines pour réduire leur transpiration et faciliter leur reprise végétative (chapeaux de feuilles de palme).

Quelques semaines après la transplantation, on remplace les plants morts.

4.3. Lutte antiérosive en caféiculture

La protection du sol contre les agents naturels de dégradation accélérée, et principalement l'érosion pluviale, est d'une grande importance en caféiculture. Dans certains cas liés à la configuration du terrain, à la nature du sol, à l'importance et à la violence des pluies, etc., elle est d'une nécessité vitale.

Les mesures vont de la couverture du sol par une plante adaptée (légumineuse) ou par un paillage ("mulch"), à la plantation en terrasses sur les

sols très déclives en passant par les défenses intermédiaires, comme la plantation en courbes de niveau, les haies antiérosives, les fossés, etc.

4.4. Ombrage

D'une façon générale, on considère que l'ombrage a une action modératrice sur l'induction florale et sur la fructification.

Actuellement, on est convaincu de la supériorité des plantations non ou très légèrement ombragées, *à la condition expresse de pratiquer une culture intensive* très élaborée (entretien, taille, fertilisation, etc.). Dans le cas contraire, les résultats peuvent être très décevants.

L'ombrage ne se justifie que dans les conditions d'environnement s'éloignant trop de l'optimum écologique de l'espèce ou dans la crainte d'aléas climatiques fréquents (gelées, grêle, ventilation excessive).

4.5. Taille

Le caféier a une floraison centrifuge qu'il est nécessaire de maîtriser.

4.5.1. En ce qui concerne les Arabicas, ils produisent beaucoup de bois secondaire qui peut porter une récolte plusieurs années ; on les conduira donc généralement à une tige (unicaule) avec une taille "en cylindre" assurant une bonne aération en :

— supprimant les primaires trop basses ;
— supprimant les primaires trop serrées (avec prudence car elles ne se renouvellent pas) ;
— supprimant les secondaires trop proches du tronc ;
— supprimant les rameaux adventices ou desséchés ;
— écimant à 1,50/1,80 m avec suppression d'une des deux primaires immédiatement sous la taille (éviter éclatement). Cet écimage peut se faire progressivement à divers niveaux, ce qui amène un renforcement des primaires.

Recépage de régénération : partir d'un gourmand.

La taille s'effectue en période de repos végétatif.

La conduite en **multicaule** est plus rare pour l'Arabica, mais a tendance à se développer du fait du renchérissement des coûts de la main-d'œuvre spécialisée nécessaire.

4.5.2. CANÉPHOROÏDES

Les canéphoroïdes ne fournissent que peu de bois secondaire, et les primaires s'allongent et se dénudent rapidement.

On est donc amené à adopter une taille à 3 tiges ou plus ce qui multiplie les bois primaire et secondaire et facilite, par recépage périodique, le renouvellement du bois productif sans donner trop d'à-coups dans la production (taille quadriennale ou quinquennale avec tire-sève).

Il existe plusieurs tailles de formation : lyre, double lyre, arcure, des combinaisons de plusieurs d'entre elles permettant d'obtenir une bonne charpente sur laquelle il est possible de travailler (production de bois secondaire, aération, remplacement des tiges insuffisamment productives : généralement après 3 à 4 récoltes).

4.6. Fertilisation

L'azote et la potasse sont les éléments largement dominants dans la nutrition du caféier en production.

La technique du diagnostic foliaire est d'un grand secours pour suivre l'évolution des besoins et dénoncer les carences.

4.6.1. FUMURE ORGANIQUE

Le fumier de ferme est utilisé en caféiculture dans les régions d'élevage à la dose de 20 à 30 t/ha, souvent par rotation (une année sur deux ou une année sur quatre).

A défaut de fumier, l'utilisation des déchets d'usinage du café, sous forme de compost, est très recommandée.

4.6.2. FERTILISATION MINÉRALE

L'azote joue un rôle primordial dans le métabolisme de croissance du caféier, plus tard dans la formation des jeunes rameaux et des feuilles et dans l'activité photosynthétique de ces dernières.

La potasse est l'élément dominant dans les fruits et les graines.

Les exigences du caféier en acide phosphorique sont assez modestes.

Une attention toute particulière a été accordée ces dernières années aux éléments mineurs ou oligo-éléments : le manganèse, le fer, le bore, le zinc, etc. On a constaté dans les cas de grains déficients que le seul apport de la substance en cause permettait de rétablir un bon niveau de fertilité.

En ce qui concerne les équilibres fertilisants, il est bien évident que ceux-ci doivent faire une large place à N et K.

Dans le cas d'apports simples, on utilise pour N le sulfate d'ammoniaque ou le perlurée, pour P le phosphate bicalcique ou le superphosphate triple, pour K le chlorure de potasse.

Il n'est pas possible de donner des formules standards de fertilisation minérale. Celles-ci diffèrent trop avec la nature des sols, le régime et l'intensité des pluies, l'âge des caféiers, la valeur génétique du matériel végétal, etc. Il appartient aux organismes régionaux de recherche agronomique de renseigner les planteurs.

A titre d'exemple, voici ce que l'on applique en Centrafrique (sur du Robusta) :

	Sur plantation en production	
	Familiale	Intensive
	(unités fertilisantes/ha)	
N	60-80	100-120
P	40	50-60
K	60	60-90

Dans le cas d'un cycle de taille quinquennale et d'une culture intensive, les formules devraient être modulées comme suit :

	N	P	K
Année de recépage	60	60	—
2e année	120	90	60
3e année	180	90	60
4e année	150	90	60
5e année	90	60	60

4.7. Travaux d'entretien

Les sarclages des « assiettes » doivent être assez fréquents (on peut aussi employer les herbicides).

Quant à l'irrigation, elle peut parfois être intéressante car les rendements dépendent de la pluviométrie à l'époque de la floraison. Elle est pratiquée couramment en Arabie, au Kenya, au Brésil, etc.

4.8. Cultures intercalaires

L'occupation des interlignes par des cultures vivrières pendant le jeune âge des caféiers est assez répandue.

On peut conclure à l'innocuité de ces cultures pendant les trois premières années de culture caféière, à l'exclusion du bananier plantain dont la présence se traduit par un effet dépressif considérable sur les rendements.

D'une façon générale, au-delà des deux ou trois premières années, toutes les cultures intercalaires portent préjudice au caféier et plus particulièrement le bananier plantain, rigoureusement à proscrire.

4.9. Replantation

Le remplacement d'une vieille caféière par de jeunes arbustes est un problème qui se pose fréquemment.

On peut procéder de diverses façons. La première méthode consiste à arracher les vieux arbres et après avoir tracé les nouveaux alignements dans les intervalles, à replanter. Le développement des jeunes caféiers est satisfaisant, mais il se produit un hiatus total de production pendant deux à trois ans.

Une autre méthode consiste à planter les jeunes caféiers entre les rangées des vieux. La croissance des premiers sera très lente ou, faute d'éclairement, ils auront tendance à "filer". Les vieux caféiers seront éliminés peu à peu pour abréger la durée de compétition.

Selon une troisième méthode, une rangée sur deux de vieux caféiers est supprimée et remplacée par de jeunes plants. Dès que ces derniers sont assez développés, on supprime les vieux arbres et on les remplace à leur tour. Cette méthode permet au planteur de récolter une demi-production pendant une période de transition.

4.10. Récolte et rendements

Il s'écoule un temps variable, selon les espèces, entre la fécondation et la maturation des fruits.

Parmi les facteurs les plus importants, citons :
— les conditions climatiques,
— les façons culturales,
— l'orientation et l'exposition de la plantation.

La floraison du caféier s'échelonnant sur plusieurs semaines, il en est de même pour la maturation, ce qui est une circonstance heureuse si la main-d'œuvre est insuffisante.

La cueillette devra toujours se faire à pleine maturité, dont le signe est la couleur rouge pourpre. Elle nécessite plusieurs passages dans la plantation.

La cueillette est toujours faite à la main. Le rendement d'un récolteur varie de 30 à 100 kg de cerises par jour, selon l'importance de la récolte pendante.

Rendements (en café marchand)

L'estimation des rendements doit être faite sur au moins 5 années consécutives.

Avec du matériel végétal non sélectionné et dans des conditions normales de culture, on peut obtenir avec *C. arabica* :
— 200 à 300 kg/ha à la première récolte (4 ans),
— 600 à 800 kg/ha aux 2e et 3e récoltes (5 et 6 ans),
— 500 à 800 kg/ha ensuite jusqu'à 15-20 ans.

En ayant recours à des pratiques très élaborées, on a pu obtenir des rendements très élevés (5 à 6 t/ha au Brésil).

Il n'est pas exceptionnel, maintenant, d'obtenir 1 000 à 1 200 kg/ha de moyenne annuelle.

Des progrès du même ordre ont été réalisés avec *C. canephora*. Ex. : en Côte d'Ivoire les variétés nouvelles de Robusta donnent, en pleine production, un rendement moyen de 2 à 3 tonnes/ha en station et devraient permettre d'obtenir 1 000 à 1 500 kg en milieu paysan (avec des techniques culturales améliorées).

Période de productivité

La période rémunératrice de l'exploitation de la caféière n'excède généralement pas 20 ou 25 années dans les meilleures conditions.

5. MALADIES ET ENNEMIS

Deux grands fléaux ont ravagé les plantations de caféiers dans le monde au cours des cent dernières années et causent encore des destructions considérables. L'un est une maladie due à un champignon microscopique, l'*Hemileia vastatrix* ou rouille ; l'autre un insecte, parasite du grain, *Hypothenemus hampei* (syn. *Stephanoderes hampei*) communément appelé scolyte du grain.

La mise au point de nouveaux traitements anticryptogamiques, appuyée par la mise à la disposition des exploitants de produits toujours plus actifs, permet maintenant de lutter avec beaucoup plus d'efficacité contre ces deux fléaux. Mais avec le développement de la caféiculture, plus particulièrement en Afrique, de nouvelles maladies sont apparues, de nouveaux parasites ont proliféré.

5.1. Maladies

a) **Les Pourridiés radiculaires** dus à plusieurs champignons, dont les

symptômes sont sensiblement identiques : pivot et racines principales plus ou moins pourris et fissurés longitudinalement ; présence de mycelium blanc sur les lambeaux d'écorce ou entre l'écorce et le bois ; odeur caractéristique de champignon frais.

La méthode classique de lutte consiste à délimiter les taches de maladies par un fossé suffisamment profond. On arrache à l'intérieur de la tache tous les sujets, y compris les arbres d'ombrage. Il convient d'incinérer tous les troncs et débris ligneux restant à la surface de la tache, puis d'enfouir les petits débris pour qu'ils n'émettent pas de spores et se décomposent rapidement.

La tache ne doit pas être replantée avant trois ou quatre ans.

b) **La trachéomycose** (ou carbuncullariose) due à *Fusarium xylaroïdes*.

La trachéomycose a dévasté les plantations de caféiers de l'Ouest africain au cours des années 1938 à 1945.

La maladie se manifeste par un arrêt brutal de la végétation. Les symptômes se manifestent assez souvent unilatéralement, comme le fait une hémiplégie. L'arbuste meurt dans un laps de temps variable, mais d'autant plus court qu'il est jeune.

Il n'est d'autre moyen de lutte que l'arrachage et l'incinération des arbustes morts ou malades pour éviter la propagation de la maladie. Les recherches sont poursuivies en vue de la sélection de types résistants.

c) **La rouille du caféier**, due à *Hemileia vastatrix* et *Hemileia coffeicola*.

L'*Hemileia vastatrix* est, sans aucun doute, la maladie du caféier qui a causé le plus de dégâts depuis sa découverte au Sri Lanka, en 1861.

Le mycelium du champignon envahit les tissus de la feuille et sa présence se traduit par l'apparition de petites taches jaunâtres, plus ou moins translucides.

Les feuilles malades, dont la chlorophylle est détruite, tombent. Lorsque l'attaque est grave, l'arbuste est totalement défeuillé ; ses extrémités se dessèchent et il meurt d'épuisement au bout d'un certain temps si le phénomène se renouvelle.

L'affection se propage par les spores (plusieurs centaines de mille par tache), véhiculées par le vent, les insectes, etc., souvent sur de très grandes distances.

L'*Hemileia* est toujours l'objet des travaux de recherche. Le moyen de protection et de lutte le plus efficace reste cependant la bouillie bordelaise classique, à 1 ou 2 % (ou de préparations commerciales à base de cuivre), utilisée à raison de 3 à 5 traitements par an.

d) **L'anthracnose des fruits** par *Colletotrichum coffeanum*.

Les dégâts causés par cette maladie aux fruits du caféier de l'espèce *C. arabica* ont pris ces dernières années une telle ampleur dans les plantations africaines d'altitude (Afrique orientale, Cameroun, Kivu, etc.) qu'une attention particulière doit lui être accordée. L'affection se manifeste par des taches en dépression sur les fruits, à tous les stades de développement ; ceux-ci brunissent, noircissent, et sont perdus par pourriture. Les travaux de recherche sont activement poussés.

La lutte chimique, bien conduite, avec des pulvérisations répétées de produits cupriques permet de réduire considérablement les pertes.

On citera encore : la maladie dite des yeux bruns provoquant l'apparition de taches brunes sur les feuilles, la fumagine, des fusarioses, etc.

5.2. Insectes parasites

La liste des insectes parasites du caféier connus dans le monde est fort longue. On se limitera, comme pour les maladies, à examiner les ennemis les plus répandus, responsables des plus graves dégâts.

— **Cochenilles** : qui attaquent les racines et tous les organes aériens du caféier. Sur les racines, en association avec des fournis et un champignon, les cochenilles provoquent la phtiriose qui est surtout dangereuse pour les jeunes caféiers. On distingue un manchon de cochenilles autour du collet et sur le haut des racines.
— **Borer** (*Xyleborus*) : dont les larves creusent des galeries dans les branchettes ; longicornes qui parasitent les troncs (*Bixadus*).
— **Scolytes du grain** (*Hypotenemus hampei*) : qui perforent les cerises causant une importante chute de fruits et dépréciant la qualité.
— **Punaises** : qui piquent les jeunes rameaux, les fleurs et les jeunes fruits (*Antestiopsis*).
— **Tigres** (*Galeatus involutus*) : qui sont de petits hémiptères brun rougeâtre munis d'ailes transparentes, qui piquent la face inférieure de feuilles. Ces feuilles finissent par tomber.
— **Chenilles** : qui dévorent le limbe des feuilles (Épicampoptères ou "chenilles queue de rat", Sphynx, Pyrales, Teignes) ou l'intérieur des jeunes fruits. D'autres chenilles minent l'intérieur du limbe des feuilles (leucoptères).
— **Acariens** : qui piquent la face inférieure des feuilles.
— **Nématodes** : qui provoquent des déformations des racines.
— **Grillons, sauterelles, courtilières** : qui dévorent les jeunes semis.
— **Termites** : qui creusent des galeries dans les troncs des caféiers et détruisent les boutures.

On lutte contre les ennemis soit avec du DDT ou du lindane, soit avec les produits tels que la dieldrine, l'endosulfan 60 g/hl ou le Di-bromochloropropane (50 l/ha).

6. TECHNOLOGIE

Pour obtenir du café marchand, il faut débarrasser les grains de leurs enveloppes.

Deux méthodes sont utilisées :

— Le traitement par voie humide : fournit un café marchand de qualité fine, de couleur très uniforme. Mais une installation de traitement par voie humide demande un minimum de 200 ha de plantation pour être rentable.
— Le traitement par voie sèche : qui est le plus utilisé et le plus simple.

6.1. Suite des opérations du traitement par voie humide

— **triage** : par immersion des cerises. Les débris et les cerises surnageant sont éliminés, alors que les cerises lourdes et saines sont seules conservées ;
— **dépulpage** : les cerises conservées passent dans des dépulpeurs à cylindres ou à disques qui séparent la pulpe des grains de café en parche ;
— **démucilagination** : le café en parche subit une fermentation afin de

permettre d'enlever plus facilement les restes de mucilage demeurés sur les parches et gênants pour le séchage ultérieur ;
— **lavage** : du café en parche fermenté afin d'éliminer toute trace du mucilage ;
— **séchage** : du café en parche propre ;
— **déparchage** : pour débarrasser le grain de café de sa parche ;
— **polissage** : des grains de café déparchés pour enlever leur pellicule.

6.2. Suite des opérations du traitement par voie sèche

— **séchage** : les cerises de café sont placées sur des claies en couches de 5 à 8 cm d'épaisseur et elles seront remuées plusieurs fois par jour. Il faut environ 3 semaines pour que les cerises soient convenablement séchées. On reconnaît que les cerises sont sèches au fait qu'en en secouant une poignée on entend les grains balloter à l'intérieur. On conseille d'utiliser pour le séchage des cerises des séchoirs autobus.
— **décorticage** : les cerises sèches sont décortiquées soit au pilon, soit sans des décortiqueuses.

Une fois décortiqués, les grains de café préparés par l'un ou l'autre procédé sont triés, nettoyés et emballés.

6.3. Rendements technologiques

Canephora (Robusta) : 100 kg de cerises mûres donnent environ 40 kg de cerises sèches et 22,5 kg de café marchand.

Arabica : 100 kg de cerises mûres donnent environ 20,4 kg de café parche et 16,5 kg de café marchand.

6.4. Cafés verts et torréfiés

6.4.1. TENEUR EN CAFÉINE

Les cafés verts contiennent généralement de 1 à 2,5 % de caféine. Les Arabica sont les moins riches avec en moyenne 0,8 % à 1,5 % tandis que chez les Canephora (Robusta, Kouillou...), la teneur varie en moyenne entre 1,6 et 2,2 % ; certaines atteignent 2,8 % et dépassent même 3 %. Le Liberia et l'Excelsa se placent dans une position intermédiaire aux environs de 1,5 %.

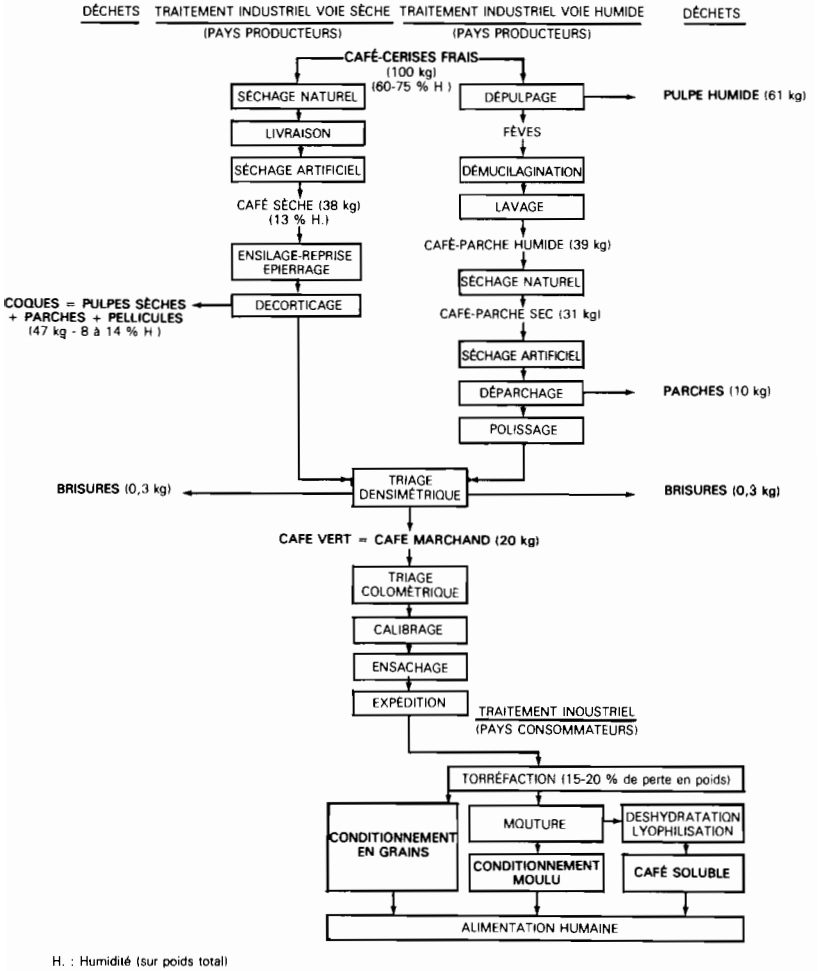
6.4.2. PRINCIPES VOLATILS ET CONSTITUANTS DE L'ARÔME

Les principes volatils contenus dans le café vert sont représentés par de l'eau et une petite quantité d'huile essentielle, dont la présence est décelable par son odeur, notamment si l'on broie le grain.

C'est au cours de la torréfaction que se forme et se développe, à partir de substances encore mal connues désignées sous le nom de « précurseurs », le complexe aromatique du café grillé.

L'étude de ce complexe, l'isolement de ses composants, leur identification et leur dosage, constituent un très vaste programme de recherches, encore très fragmentairement réalisé. La chromatographie en phase gazeuse a décelé actuellement plus de 300 substances différentes parmi les constituants de l'arôme du café, mais aucune d'entre elles ne caractérise, à elle seule, cet arôme.

CAFEIER
SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



H. : Humidité (sur poids total)

6.4.3. TORRÉFACTION

Les qualités aromatiques du café n'apparaissent et ne se développent que sous l'action des hautes températures auxquelles il est soumis au cours de la torréfaction. En dehors des modifications que subissent son aspect extérieur (couleur, volume) et sa texture au cours de cette opération, le produit est le siège de transformations chimiques profondes, dont certaines sont génératrices de l'arôme et du goût particulier du café.

A partir de 150° C le grain dégage une odeur qui devient aromatique à partir de 180/200° C pour atteindre son plein développement vers 220/230° C. Au-dessus de ces températures les grains noircissent et se carbonisent.

La durée de la torréfaction est habituellement de l'ordre de douze à quinze minutes.

La torréfaction, en même temps qu'elle donne au café ses qualités gustatives et aromatiques, provoque certaines modifications du grain (perte de poids de 15 à 20 % et augmentation de volume de l'ordre de 50 à 80 %).

6.4.4. MÉLANGES COMMERCIAUX DE CAFÉ

La production caféière peut, au point de vue de ses caractères organoleptiques, être classée en trois groupes :

a) **Les cafés dits "mild" (doux)**, exclusivement produits par *C. arabica*, dont la préparation, sur le lieu de production, a été particulièrement soignée (Colombie, Kenya)

b) **Les cafés brésiliens**, dont on sait la diversité malgré une même origine botanique (*C. arabica*), mais qui se caractérisent tous, d'une façon générale, par des qualités organoleptiques moins recherchées. Ce sont des Arabicas de qualité courante traités par voie sèche.

c) **Les cafés Canephora**, production essentiellement africaine, au goût neutre, moins aromatique que ceux des classes précédentes, quoique certaines provenances brésiliennes (Rio, Victoria) leur soient nettement inférieures, mais de plus en plus appréciés pour leurs qualités propres.

6.5.4.CAFÉ SOLUBLE

Le principe de fabrication du café soluble est relativement simple : on prépare, à l'eau chaude, un concentré liquide de café, qui est ensuite très finement pulvérisé dans un courant d'air chaud et sec (atomisation) ; il se dépose une poudre anhydre (café soluble) qui, par dissolution dans l'eau, permet de reconstituer le breuvage.

Un procédé plus élaboré (lyophilisation ou cryodessication = sublimation de l'extrait congelé, sous vide à faible température) permet aussi d'obtenir des poudres solubles de qualités organoleptiques mieux préservées que par l'atomisation.

6.4.6. CAFÉ DÉCAFÉINÉ

La décaféination fait intervenir trois opérations :

1) libération de la caféine à partir de ses combinaisons (par la vapeur) ;

2) extraction de l'alcaloïde (par un solvant chloré) ;

3) préparation du café torréfié.

On a longtemps reproché à ces cafés d'avoir perdu une grande partie de leur arôme. Cette opinion est beaucoup moins valable aujourd'hui, car il est mainte-

nant possible de se procurer de tels cafés ayant des qualités très proches des cafés complets.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (en jt/ha)

— Robusta (pour un rendement de 1 000 kg/ha de café marchand)

	Côte d'Ivoire	Madagascar
Région	Divo-Tiassale	Vatomandry
Fauchage	—	50
Sarclage	48	40
Taille	12	10
Égourmandage	24	16
Engrais	3	4
Total entretien	87	120
Traitement phyto-sanitaire	7	6
Récolte	175	130
Usinage		44
Total	269	300

7.2. Production (café vert) 1985

CONTINENTS	Surf. x 1 000 ha	Prod. x 1 000 t	Rendt kg/ha
Amérique du Nord et centrale	1 516	997	658
Amérique du Sud	4 153	2 825	680
Asie	1 027	731	711
Afrique	3 698	1 425	385
Océanie	43	51	1 186
Total mondial	10 437	6 029	578

Rang	PAYS	Surf. x 1 000 ha	Production x 1 000 t	Rendement kg/ha
1	Brésil	2 483	1 877	756
2	Colombie F	900	660	733
3	Indonésie *	540	327	606
4	Côte d'Ivoire *	1 100	300	273
5	Mexique F	410	269	656

7.3. Commerce (café vert et torréfié) 1985

Rang	PAYS	Importation	PAYS	Exportation
1	USA	1 136,5	Brésil	1 014,0
2	R.F.A.	525,0	Colombie	585,0
3	France	313,0	Côte d'Ivoire	266,5
4	Italie	284,0	Indonésie	293,0
5	Japon	231,5	Mexique	193,0

F : estimations FAO * : données non officielles

COLATIER

Sterculiacée **Kola**
Cola acuminata **Cola**
et *Cola nitida*

1. BUTS DE LA CULTURE

Le colatier fournit des graines dont les propriétés toniques sont bien connues.

"Les cotylédons renferment 2,3 % de caféine qu'accompagne un peu de théobromine (0,02 %)" (1). "Le plus souvent, la graine est mâchée" (1). "La Cola constitue un tonique du coeur ; elle apaise la faim et la fatigue et est en outre faiblement diurétique" (1). "Son usage est très répandu en Afrique tropicale occidentale" (1).

La noix de Cola est aussi utilisée en pharmacie et pour constituer des boissons toniques.

2. BOTANIQUE

Le colatier est originaire des forêts de la côte occidentale d'Afrique.

7 espèces au moins produisent des noix comestibles. Seules *Cola nitida* et dans une moindre mesure *Cola acuminata* font l'objet de plantation.

Arbres de 12 à 15 m. Fleurs mâles, hermaphrodites fonctionnellement femelles, auto-incompatibles, rarement auto-compatibles. Fruits composés de 1 à 5 follicules contenant des graines dites "noix", blanches, roses ou rouges. Pieds à inflorescences presqu'exclusivement mâles ("mâles") à majorité d'inflorescences mixtes ("femelles").

3. ÉCOLOGIE

Climat chaud et humide (entre 5 et 10° de latitude).

Température variant autour de 25 °C.

Pluviométrie annuelle supérieure à 1 000 mm avec saison sèche bien marquée ne dépassant pas 4 mois (2)

(1) Moreau (F.) : Alcaloïdes et plantes alcaloïfères, "Que sais-je ?", Presses Universitaires de France, page 85.

Sites à ombrage léger.
Sol humifère, sain, frais, profond (sans horizon induré).

4. CULTURE

4.1. Semis

Semis direct à éviter.
Semis en pots ou en pépinière des noix provenant du milieu du follicule, à 3 cm de profondeur, cotylédons écartés et hile en bas. On accélère ainsi la germination (70 % à 80 % de germination 2 mois après le semis) qui autrement est lente et régulière.
On peut marcoter ou mieux, bouturer les sujets intéressants ; il faut alors des plantations pluri-clonales (auto-incompatibilité de la plupart des sujets). La greffe est difficile.

4.2. Mise en place

Elle se fait de 7 à 8 m en tous sens, en début de saison des pluies. Les plants ont de 5 à 6 mois (25 à 30 cm) pour les semenceaux munis encore de leurs cotylédons et de 8 à 10 mois pour les boutures. Il faut prendre beaucoup de soins, surtout pour les boutures (racine à fort pivot pauvre en chevelu), pailler et mettre sous abri.

4.3. Entretien

Il consistera en sarclage et égourmandage. On peut en raison de l'entrée en production tardive, faire une culture intercalaire (vivriers comme banane ou igname). On élimine les plans improductifs.

4.4. Rendement

Entrée en production vers 7 ans, production économique vers 10 ans et pleine production vers 15 ans pour les semenceaux ; entrée en production vers 3 à 4 ans, production économique vers 6 ans et pleine production vers 10 ans pour les boutures d'axes plagiotropes. Le colatier peut se maintenir jusqu'à 50 ans et peut-être plus.
— 1 follicule donne en moyenne 6 à 7 noix.
— 1 pied (femelle) en moyenne 500 à 700 noix, jusqu'à 3 000 noix.
— 1 kg de noix fraîches contient 15 à 100 noix, 60 en moyenne.
Tous ces chiffres sont très variables suivant les sujets.
Une bonne plantation peut donner 1 000 à 1 500 kg de noix fraîches par hectare. Avec des méthodes culturales très élaborées (utilisation de clones sélectionnés, entretien correct, pollinisation artificielle, etc.), on peut obtenir des rendements très élevés (7 à 10 tonnes de noix par hectare).

5. PRÉPARATION ET CONDITIONNEMENT

Les noix, extraites des follicules et débarrassées des téguments qui les entourent, sont triées par couleur et par taille (les grosses sont les plus appréciées) et quelquefois par forme (les formes dites « tête de cheval » sont parfois

recherchées pour des usages particuliers). Elles sont expédiées en paniers (de 40 à 50 kg) garnis intérieurement de feuilles de *Tomatococcus danielli* destinées à conserver un certain degré d'humidité.

Les noix fraiches font l'objet d'un commerce inter-africain important, qu'il est difficile d'apprécier (150 à 200 000 t).

Les noix sont stabilisées à la chaleur, puis séchées au soleil ; elles conservent ainsi toutes leurs propriétés.

GUARANA

Sapindacée — **Guarana**
Paullinia cupana — **Guarana**

Le guarana est "une liane originaire de la région tropicale de l'Amérique Centrale" (1).

Elle renferme de la caféine et de la théobromine.

Les graines sont employées à la préparation d'une pâte, le guarana, qui est "la drogue la plus riche en caféine (3 à 5 %)" (1).

"Sa consommation s'étend au Brésil, à la Bolivie, au Pérou et au Vénézuéla" (1).

MATÉ

Iliacée — **Mate, Paraguay tea**
Ilex paraguensis — **Mate**

« Le nom de Maté est celui qu'on donne au Pérou à un arbre répandu dans diverses régions de l'Amérique du Sud, ainsi qu'à l'infusion... que l'on fait avec ses feuilles » (2) grillées.

C'est un arbre de 10-15 m voisin du houx.

« Les feuilles renferment un alcaloïde appelé matéine dont les effets sont voisins de ceux de la caféine... dans la proportion de 2 % » (3).

« L'Argentin moyen consomme 8 kg de maté par an (contre 1,9 kg de café). Le Brésilien moyen consomme 0,5 kg de maté (contre 6,9 kg de café) » (2).

« La production mondiale est de l'ordre de 200.000 t par an (dont 100 000 pour l'Argentine) » (2).

---

(1) D'après Moreau (F.), Alcaloïdes et plantes alcaloïfères, "Que sais-je ?", Presses Universitaires de France, page 87.

(2) D'après Moreau (F.), Alcaloïdes et plantes alcaloïfères, "Que sais-je ?", Presses Universitaires de France, page 75.

(3) D'après Moreau (F.), Alcaloïdes et plantes alcaloïfères, "Que sais-je ?", Presses Universitaires de France, page 77.

TABAC

Solanacée **Tobacco**
Nicotiana **Tabaco**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le tabac est cultivé pour ses feuilles qui servent à fabriquer :
— du tabac de coupe pour cigarettes, scaferlati et pipe,
— des cigarettes,
— des couvertures et intérieurs de cigare,
— du tabac à priser,
— du tabac à mâcher,
— du tabac à nicotine.

2. BOTANIQUE

Tous les tabacs appartiennent au genre Nicotiana (J. Nicot a introduit en France le *Nicotiana rustica* : le tabac industriel, *N. tabacum,* a été introduit par A. Thévet).

2.1. Classification

Il existe environ 60 espèces différentes de Nicotiana, classées en 3 sous-genres d'après leur morphologie, leur localisation et leurs particularités cytogénétiques.

— Le sous-genre Petunioïde comprend 45 espèces, mais n'a pas d'intérêt économique.
— Le sous-genre Rustica fournit les tabacs corsés, riches en nicotine (teneur de 4 à 5 % d'ordinaire, mais qui peut aller jusqu'à 16 %). Il comprend 9 espèces toutes originaires d'Amérique du Sud.
— Le sous-genre Tabacum (6 espèces originaires aussi de l'Amérique du Sud) est de loin le plus important car il comprend les 9/10^{e} des tabacs cultivés dans le monde.

Il renferme un très grand nombre de races que l'on peut rassembler en 4 types idéaux, supposés purs et actuellement disparus :

— *Nicotiana tabacum havanensis* (gabarit de la plante ellipsoïdal), qui sert à faire les cigares du genre "Havane" et qui comprend également certaines races de tabac d'Orient, de Java et de Sumatra.
— *N.T. brasiliensis* (gabarit de la plante conique) dont les principales races sont : le Brésil de Bahia, le Burley et le Paraguay.
— *N.T. viriginica* (gabarit de la plante formé par 2 cônes réunis par leur base, le supérieur étant beaucoup plus haut que l'inférieur) dont les principales races sont le Kentucky et le Virginie.
— *N.T. purpurea* (gabarit de la plante cylindrique) qui comprend les tabacs orientaux.



T. havanensis

L/1 = 2

Variétés : VUELTA ABAJO, SUMATRA, JAVA



T. brasiliensis

L/1 = 2,5; tige forte à la base

Brésil : BURLEY

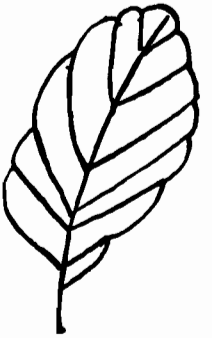
Paraguay : MARYLAND

KENTUCKY, VIRGINIE



T. virginica

TABACS DE HONGRIE



T. purpurea

Dans la réalité, tous ces types de *Nicotania Tabacum* sont mélangés et on ne retrouve pas, pratiquement, de variétés pures qui présentent tous les caractères de chacun des types précédents.

2.2. Description

— Plantes annuelles à tige herbacée.
— Feuilles isolées entières, rarement sinuées ou ondulées.
— Fleurs hermaphrodites, l'autofécondation étant la règle.
— Fruit : capsule.
— Graines nombreuses, petites, presque réniformes (11 000 graines/g).

3. ÉCOLOGIE

3.1. Température

La température agit directement sur la durée du cycle végétatif (de 70 à 150 jours).

La phase pépinière est prise en considération pour définir la durée du cycle végétatif (de la germination à la floraison). Une phase de croissance réduite en pépinière avantage le développement foliaire au cours de la phase de végétation au champ.

A 0° C le tabac meurt, à 4° C la végétation est arrêtée, à 15° C elle est ralentie tandis qu'au-dessus de 39° C il y a des brûlures. L'optimum varie de 18 à 27° C.

3.2. Hygrométrie et pluviométrie

Elles influencent directement la qualité du tabac. En effet, une forte hygrométrie donne des feuilles légères et fines. Une pluviométrie élevée combinée à une température moyenne élevée donne des feuilles peu nervurées.

Les zones à forte sécheresse et à forte insolation donnent des tabacs à petites feuilles très riches en gomme et en nicotine.

En culture normale, le tabac demande 150 à 200 mm par mois durant sa croissance. Dans des conditions particulières (cultures sur alluvions), le tabac profite des remontées capillaires ou d'irrigation de l'ordre de 90 à 120 mm.

3.3. Éclairement

Une lumière diffuse provoque un plus grand développement et une plus grande finesse des feuilles.

Une lumière directe augmente la teneur en nicotine et épaissit les feuilles.

3.4. Sols

Le tabac s'accommode de terrains très divers.

En règle générale, on trouvera des tabacs noirs et des tabacs corsés sur les terres argilo-sableuses assez lourdes et sur les argiles lourdes. Les tabacs légers demandent des terres claires, légères, sablonneuses, profondes, bien drainées.

Le tabac n'aime pas les terres marécageuses, les terres trop argileuses ou trop sableuses, les terres salées, etc.

La nappe phréatique ne doit pas être trop proche de la surface, entre 1 et 2 m de profondeur suivant la saison.

Le pH doit se situer entre 5,0 et 6,5.

3.5. Altitude

Le tabac vient aussi bien au bord de la mer qu'en altitude si les conditions précédentes sont satisfaites.

3.6. Résumé

Les tabacs corsés, riches en nicotine, gommeux, à tissus épais et à fortes nervures, demandent des sols très riches, une pluviométrie moyenne, une hygrométrie faible et une forte luminosité.

Les tabacs légers proprement dits, à tissus fins, à coloration claire, à nervures peu prononcées et peu riches en gomme demandent des sols légers, une ambiance humide, une température moyenne et peu d'insolation. Le Maryland se range dans cette catégorie. Le Virginie et le Burley demandent, en outre, un sol relativement fertile.

Le Virginie flue cured est cultivé au mieux sur des sols très légers, même sableux, en vue de contrôler étroitement l'alimentation azotée.

Les tabacs légers nourris, à grandes feuilles souples et d'un vert intense, riches en gomme, demandent des sols riches, une ambiance humide et un ensoleillement suffisant. Le Spaka et le Misionero se rangent dans cette catégorie qui donne des tabacs noirs après séchage.

4. CULTURE

4.1. Pépinière

A cause de la petitesse des graines (environ 11 000 au gramme), il est impossible de faire du semis direct.

Il faut prévoir 100 à 150 m^2 de pépinière pour repiquer 1 ha.

Sa confection demande énormément de soins : traitement du sol contre les parasites, ombrage, arrosage. Il faut en plus faire attention à l'endurcissement des plantules et à la récolte de plantules saines, au développement homogène.

4.2. Semis

On compte de 0,15 g à 0,18 g de semences pour 1 m^2 de pépinière (1 volume de couvercle de tube d'aspirine = 0,7 g = 5 m^2) ; on mélange en général la semence avec de la cendre lavée, séchée et tamisée.

La levée a lieu en 8-15 jours.

Les soins d'entretien du semis consistent en 2 à 3 arrosages/jour, un éclaircissage le plus tôt possible (pour ne laisser que 1 000 plants au m^2, un désherbage régulier, un poudrage au D.D.T.

L'arrachage débute de 50 à 90 jours après le semis. Les jeunes plants ont alors 6 à 7 feuilles et 10-12 cm de haut.

4.3. Plantation (repiquage)

On plante, après préparation du sol (fumure, rayonnage, trouaison), à une densité/ha variant de 12 000-16 000 pour les tabacs corsés, à 20 000-25 000 pour les tabacs légers.

Variétés	Espacement en cm		Densité/ha
	entre lignes	sur lignes	
Burley	106	91-81	20.000-27.000
Maryland		45-35	12.000-15.000
Virginie	121	60	14.000
Kentucky	91-81	100-80	10.000-15.000
de Cape Jamaïque	100-80 en double ligne		27.000-33.000
d'intérieurs de cigare	(100 x 50)	35-30	
	100	50-40	20.000-25.000

Le billonnage préalable ou le buttage ultérieur sont des pratiques courantes en culture d'hivernage.

4.4. Entretien

L'entretien comprend le remplacement des manquants, les binages et sarclages, les buttages, l'épamprement (on enlève les 3 ou 4 feuilles de la base, qui seraient de mauvaise qualité), l'écimage (plus ou moins précocement) et l'ébourgeonnement.

A noter que certains tabacs ne sont pas écimés.

4.5. Fumure

Une récolte de 2,5 t de feuilles riches exporte 52 kg de N, 14 kg de P_2O_5, 126 kg de K_2O et 109 kg de CaO.

On peut utiliser la fumure organique (idéalement 40 t de fumier de ferme/ha ou 2 kg par trou !).

En ce qui concerne la fumure minérale, le tabac est exigeant surtout en potasse, à apporter sous forme de sulfate ou de nitrate (éviter absolument le chlorure). La couleur des feuilles peut être affectée par des carences en magnésium, en calcium ou en bore. L'excès d'azote provoque une coloration verte qui déprécie la récolte. Les tabacs bruns sont plus exigeants que les tabacs blonds.

Le fractionnement de l'azote n'est pas une mesure indispensable et dépend des conditions locales.

P_2O_5 et K_2O se mettront entièrement à la mise en place.

Il ne saurait être question d'indiquer une formule de fumure qui doit être adaptée à chaque cas particulier.

4.6. Récolte et rendements

Le temps de maturité est lié à plusieurs facteurs : variété, sol, fumure, climat.

Les signes de maturité apparaissent d'abord sur les feuilles de base qui deviennent vert jaune. Il ne faut pas attendre l'apparition des premières taches brunes sur le limbe.

Cependant, la modification de teinte de la feuille n'est pas un critère universel pour déterminer le moment de la récolte : la position de la feuille, le cloquage du limbe, etc., sont des caractéristiques de maturité technique dépendant du type de tabac qui sont également à prendre en considération. La récolte qui a lieu environ 3 mois après la plantation (en régions tropicales, elle peut démarrer dès le 50-55^e jour qui succède à la plantation), se fait soit en feuilles (tabac de cape, Maryland, Virginie), soit en tiges (tabacs de coupe bruns), soit indifféremment (Burley).

Les rendements en feuilles fraîches varient de 6 à 12 t/ha, ce qui fait de 1 à 2 t/ha de feuilles sèches (tabac vert).

5. MALADIES ET ENNEMIS

5.1. Affections non parasitaires

Citons le gel, l'excès d'eau, la sécheresse, les blessures, la fasciation, l'albinisme, la panachure, les carences, etc.

5.2. Maladies cryptogamiques

Nature	Symptômes	Prévention ou traitements
Fonte des semis Pythium	Moisissures sur collets et racines	Désinfection des pépinières Captane - Zinèbe (200 g/gl)
Oïdium	Taches blanches poudreuses sur feuilles	Produits soufrés Dinocap. (Karathane)
Cercosporiose	Taches en œil de grenouille sur feuilles	Désinfection des pépinières et des semences traitements fongicides Benomyl (Benlate)
Fusariose	Flétrissement, jaunissement et brunissement des feuilles	Variétés résistantes
Mildiou	Taches claires, fructifications bleuâtres à la face intérieure des feuilles	Variétés résistantes

5.3. Maladies bactériennes

Nature	Symptômes	Prévention ou traitements
Flétrissement bactérien	Arrêt de croissance, dessèchement et mort	Variétés résistantes éviter la proximité d'autres solanacées
Maladie de la tige creuse	Décomposition de la moelle des tiges, chute des feuilles	Éviter excès d'humidité écimage ébourgeonnement
Feu sauvage rouille brune	Taches vert-jaune sur feuilles Noircissement	Désinfection des semences Pulvérisation de Streptomycine (200 mg/l) 1 traitement par semaine

5.4. Maladies à virus

Nature	Symptômes	Prévention ou traitements
Mosaïque	Marbrures vert foncé et plages claires sur limbe	Variétés résistantes lutte contre les viroses
Kroepoek	Déformation et gaufrage des feuilles Aspect en « rosette »	Variétés résistantes lutte contre les viroses

5.5. Ennemis

On rencontre :
— en pépinière : les courtillères, la teigne des tiges, les nématodes,
— dans les champs : les vers gris, le *gonocephalum simplex* (taupin), la teigne des feuilles, les Heteronychus, les coccinelles, les pucerons, l'*heliothis armigera*,
— dans les magasins : sur tabacs séchés, le lasioderme.
Ne jamais utiliser un insecticide contenant du H.C.H. (altération de l'arôme du tabac).

6. TECHNOLOGIE

6.1. Suite des opérations

Elles consistent à sécher les feuilles pour faire passer leur teneur en eau de 80-85 % à 12-15 %.

6.1.1. JAVELAGE

C'est une opération qui consiste à amorcer la dessication en provoquant un début rapide de jaunissement (il faut noter que le javelage est peu pratiqué en milieu tropical).

6.1.2. ENGUIRLANDAGE

Les feuilles javelées sont enfilées sur une ficelle, par le pétiole.

6.1.3. SÉCHAGE

C'est l'opération la plus importante. En fait, c'est bien plus qu'une simple dessication de la feuille, car il conduit à l'obtention d'un produit de qualité grâce à la création de conditions optimales permettant certaines modifications chimiques au sein de la feuille. On distingue quatre procédés :
— le séchage à l'air naturel en séchoir (ou air curing),
— le séchage à l'air naturel au soleil (ou sun curing),
— le séchage à la fumée (fire curing),
— le séchage artificiel à l'air chaud (ou flue curing).

6.1.4. DÉPENTE ET MISE EN MASSE D'ATTENTE

A ce stade, le tabac est dit « vert ».

6.1.5. TRIAGE DES FEUILLES
Cette opération se fait selon l'état physique, la longueur et la couleur.

6.1.6. MANOCAGE
On constitue des manoques en prenant 25/30 feuilles ensemble et en les réunissant par leur base avec un lien ou une autre feuille.

6.1.7. CONFECTION DES BALLOTINS
Les ballotins sont des groupes de manoques de même catégorie.

6.2. Conditionnement

Il consiste à faire fermenter les manoques de tabac « vert » en vue de les stabiliser pour permettre une meilleure conservation tout en développant ses qualités.
On peut stabiliser les tabacs de 4 manières :

6.2.1. PAR FERMENTATION NATURELLE
(A forte température 50-60° C appliquée aux tabacs séchés à l'air ou à la fumée).

Manoques de tabac « vert »

— triage à l'achat → diverses catégories de tabacs
— groupage des tabacs → catégories uniformes
— montage des masses de fermentation
— fermentation → tabac sec
— triage du tabac sec → grades de tabacs secs
— emballage

Balles de tabac sec

6.2.2. PAR FERMENTATION ARTIFICIELLE
(A forte température 50-60° C comme pour 6.2.1. mais la fermentation a lieu en chambres chaudes et dure une semaine. Les chambres chaudes sont conditionnées à 55-60° C à très forte humidité relative).

6.2.3. PAR FERMENTATION NATURELLE EN BALLES (tabacs d'Orient)
Manoques ou guirlandes de tabac vert.
— triage à l'achat
— groupage des tabacs → catégories uniformes
— confection des balles par grades de tabac vert
— fermentation en magasin à faible température (35 à 45° C).

6.2.4. PAR « REDDRYING » OU « PROCTORISATION »
Cette méthode est appliquée aux flue cured et aux tabacs clairs séchés au soleil. Elle permet un conditionnement rapide des tabacs en vue de leur emballage sans altérer leur coloration claire.

Manoques de tabac « vert »

— triage à l'achat → diverses catégories de tabacs
— groupage des tabacs → catégories uniformes
— proctorisation → tabacs stables
— emballage

Manoques de tabac stabilisé

— 100 kg de tabac « vert » donnent de 90 à 94 kg de tabac sec.

6.3. Divers types de tabac en feuilles

Si les principes généraux concernant la culture et la préparation du tabac sont universels, la production se caractérise cependant par une très grande diversité qu'il est impossible de décrire ici.

On peut classer les tabacs en feuilles dans les grandes catégories suivantes :

— tabacs flue cured
— tabacs clairs séchés à l'air
— tabacs d'Orient
— tabacs séchés au soleil autres que les tabacs d'Orient
— tabacs noirs séchés à l'air
— tabacs séchés sur feu.

6.4. Fabrication du tabac

Les manufactures de tabac fabriquent des mélanges à partir de variétés de tabac très diverses. Ces mélanges doivent être homogènes et aussi constants que possible. Ces mélanges reçoivent le nom d'une marque commerciale.

On distingue généralement :

— les mélanges de tabacs noirs (France, Espagne, Suisse, etc.)
— les mélanges de tabacs originaux (Grèce, Turquie, Bulgarie, etc.)
— les mélanges à goût anglais (Angleterre)
— les mélanges à goût américain (U.S.A.).

Tous ces mélanges comportent des tabacs de base qui donnent au mélange ses qualités particulières, et des tabacs de remplissage qui sont intéressants pour leur prix de revient, qui brûlent bien et qui sont de goût neutre.

Ces mélanges servent à faire le tabac de pipe et les cigarettes.

La fabrication du cigare est plus compliquée car un cigare est constitué de feuilles battues, hachées ou fragmentées :

— la « sous-cape » qui entoure la tripe pour former la « poupée »,
— la « cape » qui est l'enveloppe extérieure.

Les cigarillos se différencient des cigares par le fait qu'ils ne possèdent qu'une seule couverture, la cape.

Dans tous les tabacs, il existe un alcaloïde, la nicotine, qui est un des alcaloïdes les plus toxiques actuellement connus.

Les tabacs légers en ont généralement moins de 3 à 4 %.

Les tabacs corsés en ont de 4 à 5 % et ce taux peut atteindre 16 %.

La nicotine possède un pouvoir insecticide de contact très élevé et est utilisé par pulvérisation, notamment contre les pucerons.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (en jt/ha)

• Côte d'Ivoire (culture manuelle : tabac de coupe ; 14 000 pieds/ha)

— pépinière	30
— préparation du sol	30

— plantation	45
— entretien	60
— récolte	65
— préparation	235
Total	465

7.2. Production tabac 1985

CONTINENTS	Surf. x 1 000 ha	Prod. x 1 000 ha	Rendt kg/ha
Amérique du Nord et Centrale	468	944	2 017
Amérique du Sud	377	565	1 498
Asie	2 226	3 556	1 598
URSS F	183	380	2 077
Europe	507	780	1 538
Afrique	341	339	994
Océanie	7	16	2 286
Total mondial	4 109	6 590	1 604

Rang	PAYS	Surf. x 1 000 ha	Prod. x 1 000 t	Rendt kg/ha
1	Chine F	789	2 036	2 580
2	U.S.A.	284	702	2 472
3	Inde	431	473	1 098
4	Brésil	269	411	1 528
5	URSS F	183	380	2 077

7.3. Commerce 1985 Tabac brut (en milliers de tonnes)

Rang	PAYS	Importation	PAYS	Exportation
1	USA	201,0	USA	253,0
2	R.F.A.	146,5	Brésil	170,0
3	Royaume-Uni	120,5	Thaïlande	102,5
4	U.R.S.S.	95,0	Zimbabwé	100,0
5	Pays-Bas	90,5	Grèce	86,5

F = Estimation FAO

THÉIER

Théacée **Tea**
Camelia sinensis **Té**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le théier est une plante stimulante cultivée pour ses feuilles dont les plus

jeunes subissent une préparation donnant le thé. Le thé se consomme sous forme d'infusion.

On distingue dans le commerce le **thé noir** dont les feuilles ont subi une fermentation et le **thé vert** dont les feuilles n'ont pas subi de fermentation. On trouve aussi, mais très rarement, des **fleurs de thé** qui sont en réalité les boutons floraux dont on fait des infusions.

Les graines du théier fournissent en outre 30 à 45 % de leurs poids en huile. Cette huile n'est pas comestible. On s'en sert pour faire du savon. De plus, les tourteaux ne peuvent pas servir d'aliment du bétail, car ils contiennent 7 à 8 % de saponine qui est toxique.

2. BOTANIQUE

Le théier semble originaire des régions montagneuses de l'Asie du Sud-Est. Les variétés cultivés sont nombreuses et mal fixées ; elles peuvent être plus ou moins rattachées à deux grands types :

— *C. sinensis var. sinensis*, (type Chine), arbuste haut de 1 à 3 m (en croissance libre) ; à feuilles mates, dures, de couleur vert sombre, longues de 3 à 6 cm. Ce type est le plus rustique. Il est cultivé dans les régions où la production de thé est très ancienne (Chine et Japon).

— *C. sinensis var. assamica* (type Assam), arbre haut de 10 à 20 m (en croissance libre) ; à feuilles luisantes, souples, de couleur vert clair, longues de 15 à 20 cm. Ce type est plus productif. Il est cultivé dans les régions tropicales où la production de thé a été introduite.

Entre ces deux types extrêmes se situe une multitude de formes intermédiaires.

3. ÉCOLOGIE

Le théier est cultivé dans des milieux écologiques très divers, de 40° de latitude à l'équateur, du niveau de la mer à plus de 2 500 m d'altitude;

3.1. Climat

Le climat (surtout la pluviométrie) est le facteur déterminant. Le théier demande un climat régulièrement humide : pluviométrie annuelle supérieure à 1000-1200 mm ; moins de trois mois physiologiquement secs (évapotranspiration réelle inférieure à l'évapotranspiration potentielle) par an. L'optimum de température moyenne annuelle est de 20 à 25° C pour les types Assam, de 15 à 20° C pour les types Chine. La croissance s'arrête quand la température mensuelle moyenne descend à 12° C.

Le théier est très sensible aux vents desséchants, d'où le rôle des brise-vent surtout en saison sèche.

Il est admis que l'altitude est un facteur favorable à la qualité. Cependant, l'altitude peut limiter le rendement en abaissant la température moyenne. Une cueillette grossière et un usinage défectueux peuvent masquer la qualité potentielle des thés d'altitude.

3.2. Sols

Les sols les plus divers peuvent convenir au théier sous réserve qu'ils soient acides (pH 5,5), profonds (au moins 1,50 m), et bien drainés. Quoique peu exigeant, le théier préfère les sols forestiers riches en humus et en azote.

4. CULTURE

Bien que le théier soit une plante assez rustique, sa culture doit être soignée pour obtenir un rendement élevé, et assurer un approvisionnement régulier de l'usine, en feuilles de bonne qualité.

4.1. Multiplication

Le **semis** est le mode de multiplication le plus utilisé. Il faut 40 à 60 kg de graines par hectare de plantation. Ces graines, récoltées dans des jardins graniers spécialisés, coûtent cher ; leur pouvoir germinatif ne se conserve guère plus de 3 à 4 semaines. Elles sont mises à germer en couches minces couvertes par des toiles régulièrement arrosées. Le semis est fait à 0,15 x 0,15 m si l'arrachage a lieu au bout de 12 mois (jeunes plants entiers assez délicats), ou à 0,20 x 0,20 m si l'arrachage a lieu au bout de 18 à 24 mois (stumps plus résistants). La pépinière doit être ombragée et arrosée. Un hectare de pépinière (y compris les chemins de circulation) permet de planter 10 à 20 hectares suivant l'écartement du semis et la densité de la plantation.

Le **bouturage** est utilisé dans les régions où les stations de recherche ont pu mettre au point des clones utilisables en plantation. Cette technique est plus compliquée, mais elle permet d'obtenir des plantations à très haut rendement. Les boutures sont constituées par un entre-noeud de rameau vert avec sa feuille. Très délicates (ombrage dense et arrosages fréquents) tant que les racines ne sont pas formées, les boutures sont ensuite traitées comme les plants issus de graines. Cependant, elles doivent être élevées en pots, car leur transplantation à racines nues est pratiquement impossible.

Le défrichement et le tracé de la plantation doivent tenir compte des nécessités de la lutte contre l'érosion.

La densité de plantation varie de 10 000 à 15 000 plants par hectare. Le rendement par hectare augmente lorsque la densité de la plantation est plus forte. Un ombrage provisoire est souvent indispensable pendant la première année. Dans la plupart des cas, les arbres d'ombrage sont inutiles et même nuisibles dans les plantations adultes.

4.2. Taille

Les plants doivent recevoir des **tailles** de formation puis des tailles d'entretien, pour donner une production abondante et régulière. De nombreux systèmes de taille ont été mis au point en fonction des variétés, des densités de plantation, des conditions écologiques et des modes d'exploitation. Les tailles de formation visent à donner au plant une forme de gobelet, en coupant le tronc et les branches latérales à une hauteur s'élevant progressivement de 10 à à 40 cm ; elles sont répétées 2 à 3 fois à intervalles de 12 à 24 mois. Les tailles d'entretien

ont pour objet de stimuler la croissance des pousses en éliminant les ramifications excessives, et de contrôler l'élévation progressive de la taille des arbustes pour permettre la cueillette ; ces tailles sont faites à une hauteur variant de 50 à 70 cm, à intervalles réguliers de 2 à 3 ans.

4.3. Fumure

Le principal élément de la **fumure** du théier est l'azote qui a toujours une action très nette sur le rendement. Les doses utilisées sur une plantation en production sont couramment de 60 à 80 kg d'azote par hectare. Les autres éléments (P et K) ont une action moins nette sauf dans le cas, généralement rare, de sols fortement carencés. Le fumier ne présente aucun intérêt particulier ; son épandage et son enfouissement sont difficiles dans une plantation de théiers. Le maintien du taux de matières organiques dans le sol peut être assuré grâce aux émondes de taille et aux plantes de couverture.

4.4. Récolte

Le type de **cueillette** des pousses de théier a une influence déterminante sur le rendement et sur la qualité. La cueillette doit être faite à intervalles réguliers pour que les pousses à récolter aient exactement la taille voulue. Cette taille est fixée par le type de thé à fabriquer. En règle générale, on cueille sur des rameaux composés du bourgeon terminal appelé Pekoe et de trois feuilles, le bourgeon et les deux premières feuilles (cueillette appelée P + 2/K + 1) ; l'intervalle entre deux cueillettes est de 6 à 10 jours, suivant la saison. La cueillette de rameaux plus petits diminue le rendement, mais permet de produire un thé de qualité plus élevée et réciproquement. La cueillette est presque toujours faite à la main ; les machines à cueillir ne sont pas encore au point, sauf en Russie où les conditions de production sont très particulières. Une bonne cueillette est indispensable pour fabriquer un bon thé. L'usinage, si bien fait soit-il, ne peut pallier les fautes de cueillette.

Une plantation peut être exploitée économiquement pendant 40 à 50 ans.

4.5. Rendements divers

Production normale de thé sec par hectare de plantation adulte (6e année après la plantation) 1 000 à 1 200 kg

Production normale de thé sec par journée de travail (entretien, cueillette et usinage compris) 1,00 à 1,30 kg

Poids de pousses fraîches récoltées par journée de cueillette 20 à 25 kg

5. ENNEMIS ET MALADIES

Les principaux **parasites** sont les maladies de racines (dessoucher soigneusement avant la plantation ; arracher les plants attaqués et leurs voisins ; circonscrire la propagation du champignon parasite par un fossé ou désinfection du sol) ; on les trouve dans toutes les régions de culture. Les autres parasites animaux ou végétaux sont en général plus localisés ; souvent dangereuses en Asie, leurs attaques ont été jusqu'à présent limitées en Afrique et dans les autres

régions où la culture du thé a été introduite. Ainsi, la cloque (*Exobasidium vexans*), qui a causé des dégâts considérables au Sri Lanka et aux Indes où elle ne peut être enrayée qu'au prix d'une protection constante et coûteuse, est inconnue en Afrique. Des précautions toutes particulières doivent être prises pour éviter l'introduction de ces parasites par des importations de matériel végétal (graines, boutures) des régions contaminées ; l'entrée en Afrique de graines de théier venant d'Asie est d'ailleurs interdite pour cette raison.

6. TECHNOLOGIE

6.1. Production

La production de thé peut être organisée soit en grandes plantations de type industriel, soit en petites exploitations familiales.

Les grandes plantations industrielles demandent des capitaux considérables ; elles représentent un investissement de 15 000 à 20 000 F français/ha, la surface minimum pour justifier une usine moderne et un personnel de direction hautement qualifié est de 500 ha. La rentabilité de ces entreprises ne sera assurée que si elles bénéficient de conditions écologiques très favorables, d'une main-d'œuvre abondante (2,5 à 3 ouvriers par ha) et peu coûteuse.

La production de thé en petites plantations familiales ne peut être entreprise que par d'excellents cultivateurs, habiles, travailleurs et compétents. Compte tenu du nombre annuel de journées de travail (500 à 700) nécessaires par hectare, la surface de chaque plantation familiale sera réduite (0,20 à 0,25 ha) pour permettre aux paysans de continuer leurs autres cultures. Étant donné que les plantations doivent être situées dans le voisinage immédiat (une dizaine de kilomètres) de l'usine pour que les feuilles soient traitées rapidement après la cueillette, et compte tenu du fait qu'il faut au minimum 100 à 200 ha de plantations pour faire fonctionner normalement une petite usine, la production familiale de thé doit être réservée aux régions à densité de population élevée (plus de 30 habitants par km2). L'encadrement des cultivateurs, la collecte des feuilles, la gestion de l'usine et la commercialisation du thé de production familiale posent des problèmes difficiles qui nécessitent la création d'une organisation spéciale dotée de pouvoirs étendus.

6.2. Préparation et conditionnement

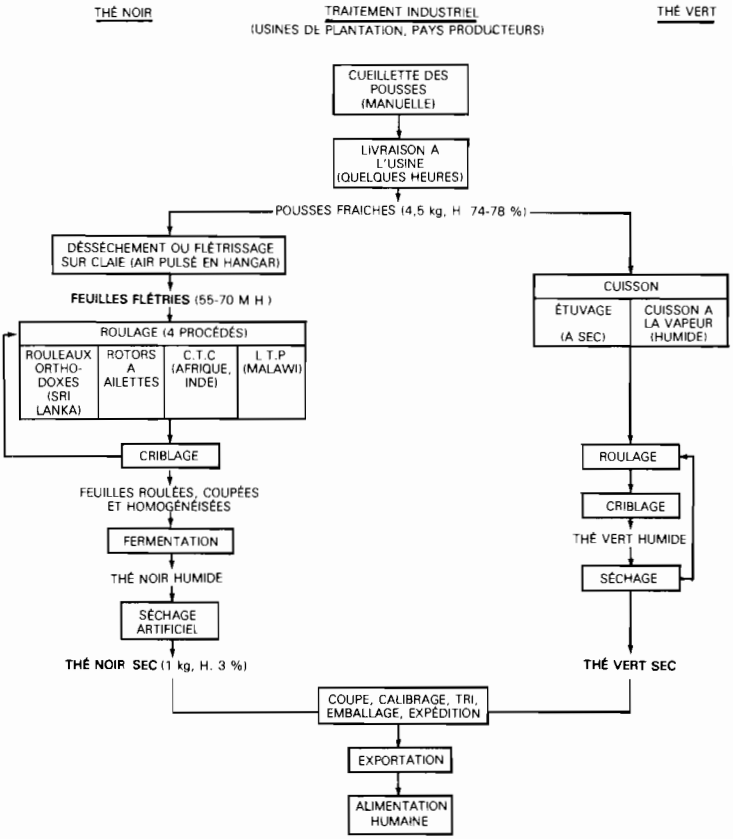
De très nombreux types de thés sont fabriqués par des méthodes artisanales suivant des procédés complexes et mal connus. Cette fabrication artisanale donne des thés très particuliers, qui correspondent à des marchés bien définis ; elle ne peut pas être imitée en usine.

Deux types de thés sont fabriqués en usine : les thés noirs, et dans certains cas les thés verts. Les usines doivent recevoir les pousses de théier moins de 6 heures après la cueillette, ce qui pose souvent des problèmes de transport compliqués.

USINAGE DU THÉ NOIR

La méthode classique d'usinage du thé noir commence par le flétrissage. Les feuilles sont étendues pendant 15 à 18 heures sur des claies où elles perdent

THEIER
SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



H. Humidité (sur poids total)

une partie de leur eau et deviennent assez molles pour être roulées. Ce flétrissage est fait dans des hangars à ventilation libre ou contrôlée. Le roulage des feuilles flétries a pour but de mélanger les enzymes aux tanins du suc cellulaire pour permettre les réactions chimiques de la fermentation : il est fait en 2 à 2 1/2 heures dans un des rouleurs mécaniques, en trois à cinq opérations successives séparées par des criblages pour homogénéiser la masse. Les feuilles roulées sont alors mises en fermentation pendant 3 à 4 heures ; la fermentation, transformation chimique des constituants de la feuille sous l'action des diastases, sans intervention des micro-organismes, est la phase la plus importante de la fabrication pendant laquelle se développent la couleur et l'arôme caractéristiques du thé noir. Après fermentation, les feuilles sont séchées entre 90 et 60° C. Le rôle du séchage est d'arrêter la fermentation et de permettre la conservation du thé en réduisant sa teneur en eau. Le séchage est fait dans des séchoirs continus fonctionnant au bois, au charbon, ou au mazout. Le thé est ensuite coupé, trié et emballé en caisses de 50 x 50 x 50 cm contenant environ 50 kg.

Le poids de pousses fraîches nécessaires à la fabrication d'un kilogramme de thé noir sec est de 4,4 à 4,6 kg.

USINAGE DU THÉ VERT

Contrairement à ce qui est communément admis, l'usinage d'un bon thé vert est aussi difficile, sinon plus, que celui d'un thé noir de qualité équivalente. La plupart des thés verts consommés dans le monde sont de fabrication artisanale. Les thés verts japonais, qui sont moins appréciés, sont fabriqués en usine.

L'usinage du thé vert commence par un traitement de la feuille à la chaleur sèche ou à la vapeur qui a pour but de détruire les enzymes et de rendre impossible la fermentation. Les feuilles sont ensuite roulées puis séchées en plusieurs opérations successives. Le thé est ensuite coupé, trié, éventuellement parfumé et coloré, puis emballé.

Toutes les feuilles de thé renferment des alcaloïdes : essentiellement de la caféine (et aussi de la théobromine et son isomère la théophylline). La teneur en caféine des feuilles de théiers est en général plus élevée que celle des grains de caféiers (1,10 % à 3,60 % contre 0,8 % à 2 %).

En outre, on trouve dans ces feuilles des tanins et une huile essentielle qui se développe lors de la préparation du thé noir et qui donne son arôme particulier au thé.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux (en jt/ha)

— Pépinière (1 ha de pépinière = 10 à 20 ha de plantation)		
• Création et semis	800 à 1 000	
entretien annuel	1 800 à 2 500	
Total pour 2 ans		4 400 à 6 000
soit par ha de plantation en moyenne		250
— Plantation		
• Création et mise en place des plants (non compris la pépinière)		1 250 à 1 550

• Entretien annuel avant production régulière (3 à 4 ans) :		
soins aux arbres	60 à 90	
entretien du sol	190 à 285	
Total annuel		250 à 375
• Entretien et exploitation annuels d'une plantation en production		
entretien du sol (fumure, sarclages, lutte contre l'érosion)	175 à 200	
entretien des arbres (taille, lutte antiparasitaire)	100 à 150	
cueillette	300 à 350	
Total annuel		575 à 700

7.2. Production de thé d'après « International Tea Committee » (en milliers de tonnes)

CONTINENTS	1970	1972	1974	1976	1977	1985	1986
Asie	952	1 011	1 052	1 109	1 108	1 787	1 771
Afrique	117	146	150	161	183	271	260
Amérique	35	37	44	41	41	49	48
Production mondiale	1 304	1 459	1 532	1 609	1 637	2 267	2 233
PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS							
Inde	315	350	390	400	429	659	625
Chine	200	265	286	298	305	440	460
Sri Lanka	212	213	204	196	208	215	212
Japon	91	94	95	100	102	95	93
URSS	66	71	80	87	90	155	145
Indonésie	44	49	51	60	64	132	123
Kenya	41	53	53	62	86	147	143

7.3. Commerce du thé en 1985 (en milliers de t)

Rang	PAYS	Importation	PAYS	Exportation
1	Royaume-Uni	188,5	Inde	222,5
2	Pakistan	84,0	Sri Lanka	197,5
3	USA	79,0	Chine	147,0
4	Irak F	43,0	Kenya	126,0
5	Égypte	41,0	Indonésie	90,0

F = estimation FAO.

PLANTES TANNIFÈRES
Palétuvier
Autres plantes

PLANTES TINCTORIALES
Indigotier
Autres plantes

PLANTES TANNIFÈRES

De nombreuses plantes contiennent dans leurs divers organes des matières tannantes.

Les tannins sont des substances qui présentent toutes des fonctions phénols dans leur molécule et qui ont la propriété de se combiner avec les peaux fraîches en leur conférant imperméabilité et imputrescibilité. Les peaux ainsi traitées constituent les cuirs.

PALÉTUVIERS

Rhizophoracée **Mangrove Bark**
Rhizophora racemosa **Mangle**

Les palétuviers constituent la mangrove sur les côtes maritimes de beaucoup de régions tropicales.

L'aire d'extension des palétuviers se limite aux abords immédiats de l'océan. Ils vivent dans la zone que les eaux salées et saumâtres recouvrent à chaque flux et reflux.

Les palétuviers sont en général de grands arbres à feuilles coriaces et persistantes. A partir des troncs partent de longues racines aériennes qui, en s'arquant, viennent enfoncer leurs extrémités dans la vase après s'être divisées en de nombreuses et courtes radicelles.

La partie intéressante est l'écorce.

"Un hectare de palétuviers produit en moyenne 36 t d'écorces sèches, soit environ 5 t de matières tannantes" (1).

Le cycle de régénération du palétuvier est d'environ 25 ans.

(1) Van Den Abeele et Vandenput, p. 610, op. cit.

AUTRES PLANTES TANNIFÈRES

Les Acacias (*Acacia decurrens*) (Black Wattle) produisent en moyenne 14 tonnes d'écorces fraîches et 7 tonnes d'écorces sèches à l'hectare, contenant 40 % de matières tannantes. Le cycle d'exploitation est compris entre 7 et 10 ans (on peut commencer à exploiter à partir de 4-5 ans si les cours sont favorables ou attendre 15-20 ans).

PLANTES TINCTORIALES

A l'heure actuelle, elles ont perdu beaucoup de leur importance depuis la découverte des couleurs chimiques d'aniline, dérivées des sous-produits du goudron.

Les substances tinctoriales sont tirées soit de la racine ou du tubercule, soit du bois, soit de l'écorce, soit des feuilles, des fleurs ou des fruits, soit de l'ensemble de la plante.

Elles s'unissent plus facilement aux fibres et tissus d'origine animale comme la laine et la soie qu'aux fibres végétales. Certaines adhèrent directement, d'autres pour se fixer ont besoin d'un mordant.

L'indigotier

L'indigo fourni par les feuilles est le plus résistant des colorants végétaux.

Il est extrait de plusieurs espèces d'indigotiers ou *Indigofera*, plantes de la famille des légumineuses.

Le principe actif colorant n'est pas l'indigo bleu tel qu'il apparaît finalement, mais d'abord un glucoside qui par fermentation donne l'indigotine puis l'indigo blanc qui se fixe sur les fibres, s'oxyde et devient bleu.

30 tonnes de feuilles fraîches peuvent donner 75 kg de pâte d'indigo.

Parmi les **bois tinctoriaux,** il y a essentiellement :

Le bois de Campêche fourni par un arbre atteignant 12 m, appartenant à la famille des légumineuses césalpiniées.

Son principe colorant est l'hématine contenu dans le coeur du bois : ce principe se forme par fermentation dans le bois coupé : l'hématine, qui est incolore, se colore en rouge au contact de l'air ou d'un alcali.

Les bois jaunes : plusieurs espèces de *Pterocarpus* donnent le bois de *Santal P. santalinus*, et fournissent une substance donnant une couleur rouge vif.

Les autres plantes tinctoriales les plus importantes sont :

— **Le Roucouyer** : teinture rouge orangée obtenue de la graine du Roucouyer *Bixa orellana*, arbuste de 4 à 5 m de la famille des Bixacées dont les graines sont revêtues d'une pulpe jaune ou rouge renfermant la matière colorante.
— **L'Orseille** : teinture violette, rouge ou jaune, fournie par divers lichens dont certaines espèces ont été exploitées à Madagascar.
— **Les Palétuviers** : appartenant aux genres *Rhizophora* et *Bruguiera* contiennent dans leurs écorces, outre le tanin, une matière colorante rouge.
— **Le Cachou** (*Acacia catechu*) qui est employé dans la teinture en kaki.

— **Le Gambier** (*Uncaria gambir*, Rubiacées).
— **Le Henné** (*Lawsonia alba*, Lythraciées), arbustes bien connu en Afrique du Nord et au Sénégal.

SOUS-CHAPITRE XIII — PLANTES TEXTILES

Abaca
Cocotier (v. s.chap. VIII)
Cotonnier
Dah (v. Kénaf)
Fromager (v. Kapokier)
Jute
Kapokier
Kénaf
Oseille de Guinée (v. Roselle)
Paka (v. Urena)
Ramie
Raphia
Rônier
Roselle
Rotin
Sisal
Urena

PLANTES A FIBRES

1. PRINCIPALES PLANTES TROPICALES A FIBRES

1.1. Dicotylédones

— Urticales (Urticacées,Moracées, Cannabinacées) : ramie, ortie, mûrier à papier, chanvre, etc.
— Tiliacées : jute, punga, etc.
— Malvacées : paka, cotonnier, kénaf, roselle, kapok, etc.
— Sterculiacées : Abroma.
— Apocynacées : soies du Sénégal (***Strophantus***).
— Asclépiadacées : soies végétales (***Asclepia***), arbre à soie (***calotropio***).
— Légumineuses : genêt, *Pueraria*, *Sesbania*, *Crotalaria*.

1.2. Monocotylédones

— Amaryllidacées : sisal, tampico, hennequen, fique, cabuya.
— Liliacées : phormium, yucca, aloe, chanvre d'Afrique, sanseviera.
— Musacées : abaca.
— Broméliacées : ananas.
— Palmiers : piassaves, crins végétaux, raphia, doum, rotin, coïr, etc.
— Graminées : alfa, sparte, diss, sorgho, etc.

2. CARACTÈRES PHYSIQUES DES FIBRES

La fibre botanique ou fibre élémentaire est un vaisseau d'origines diverses constitué par une cellule allongée dont les parois cellulosiques sont plus ou moins

imprégnées de lignine. La **fibre technique** ou fibre industrielle est le produit traité utilisé par l'industrie qui peut être constitué par la fibre élémentaire (coton, kapok, ramie) ou par plusieurs fibres élémentaires soudées entre elles.

2.1. Caractéristiques générales

	Fibres botaniques		Fibres techniques			
	Diam. en microns	Long. moy. mm	Long. moyen. mm.	Finesse Nm	Indice de rigidité	Long. de rupture en km
Cocos (coïr)	20	0,7	0,1/0,3	15/20	4,3	15
Corchorus (jute)	18	2	1,5/2,5	250/300	1,6	30-35
Hibiscus (Kenaf)	18	8	1,2/1,8	100/300	1,8	30-35
Aloe	15/25	1/3	1,0/1,5	400	2,3	35-40
Urena (paka)	20	7	1,2/1,8	250/300	1,7	35-40
Phormium	8/13	4/8	1,2/2,5	100/150	—	35-45
Sanseviera	20	2	0,8/1,5	140/150	2	45-50
Agavae (sisal)	24	2,5	0,5/1	30/35	2,3	45-55
Boehmeria (ramie)	40/55	160	0,2/0,4	2000/2500	1,4	55-60
Abaca (chanvre de H.)	24	6	2,0/2,5	30/50	2,5	50-80
Cannabis (chanvre)	20	28	1,0/2,2	200/250	1,4	55-65
Ananas	6	3/8	0,6/0,2	150/160	—	65-95

2.2. Caractéristiques technologiques

a) **INDICE DE RIGIDITÉ** : $Ir = \frac{15}{t}$

15 et t étant respectivement les temps (en secondes) mis par des mèches équivalentes (poids et longueur) de viscose souple et de fibre à étudier pour se détordre après avoir été tordues sur 15 tours dans un pendule de torsion (méthode et appareil de Tchoubar).

Varie de 1,2 (lin) à 2,5 (abaca).

Moyenne des jutes : 1,6.

De 1,6 à 1,8 on doit assouplir.

Au-delà de 1,8 les fibres sont utilisées en corderie.

b) **FINESSE OU NUMÉRO MÉTRIQUE** = Nm

$$Nm = \frac{\text{longueur en m}}{\text{poids en mg}} \times 1000$$

c) **LONGUEUR DE RUPTURE** = Lr

Longueur d'une fibre ou d'un fil (en kilomètre) supposé indéfini qui se romprait sous son propre poids. Plus il est élevé plus la fibre est résistante.

ABACA

Musacée

Manila hemp
Abaca

Tous les bananiers possèdent de longues fibres dans le pseudo-tronc formé par les gaines imbriquées des feuilles.

On exploite surtout l'abaca ou bananier textile (*Musa textilis*) dans ce sens. Sa production est localisée aux Iles Philippines. Les fibres obtenues par division des gaines en lanières et élimination du parenchyme par raclage au "couteau philippin" sont connues sous le nom de "Chanvre de Manille".

En raison de ses qualités technologiques remarquables (voir plus haut) et sa grande résistance à l'eau de mer, la fibre d'abaca est utilisée dans la fabrication de cordages maritimes, de ficelles et de tissus avec les plus fines d'entre elles. Les plus courtes servent à la fabrication de pâte à papier.

COTONNIER

Malvacée
Gossypium

Cotton
Algodon

1. BUTS DE LA CULTURE

On cultive le cotonnier pour ses graines qui portent à leur surface de longs poils qui constituent les fibres de coton ou "soies". Les fibres servent à fabriquer des tissus, des couvertures, etc. Les longues soies servent en particulier à confectionner le coton mercerisé, le coton à broder, l'entoilage des pneus, etc.

En pharmacie, les fibres de coton servent à la confection de coton hydrophile, de la ouate, de coton iodé, etc. Le service des poudres fabrique des explosifs comme le fulmicoton, la nitrocellulose, etc.

Les graines sont oléagineuses et elles fournissent une huile alimentaire après élimination du gossypol qui est toxique. Les tourteaux sont utilisés dans l'alimentation du bétail et dans la fabrication de farines comestibles par l'homme, riches en protéines, lorsqu'ils proviennent de graines sans glandes à gossypol dites "glandless".

Les coques servent de combustible et peuvent également servir à la fabrication de charbon, de colorant, de pâte à papier, etc.

Le duvet ou linter, qui est un ensemble de petits poils très courts se trouvant à la surface des graines des cotonniers sert à différents usages comme la fabrication de vernis, de celluloïds, de fibres de disques, d'explosifs, de rayonne, de feutre, de rembourrages, de papiers fins, du simili-cuir, etc.

La culture du cotonnier est fort ancienne. La littérature de la Chine relate que, dans ce pays, le cotonnier était déjà exploité 3 000 ans avant notre ère.

2. BOTANIQUE

Le cotonnier appartient à la famille des Malvacées, sous-tribu des *hibisceae,* genre *gossypium.*

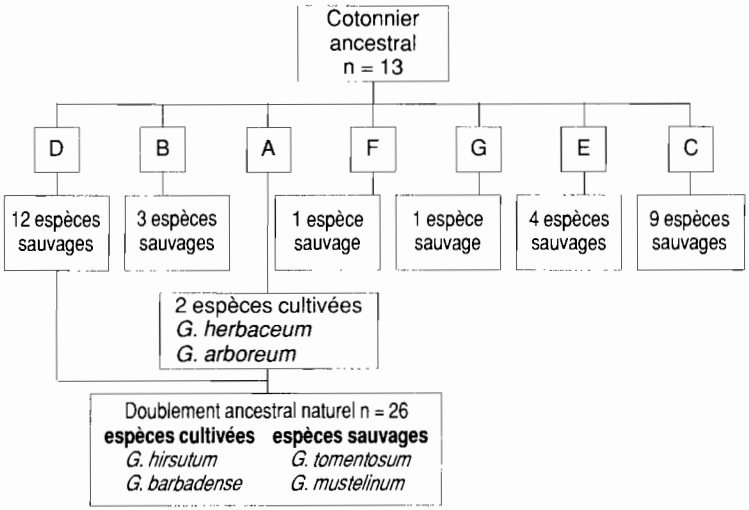
2.1. Genre *gossypium*

Le nombre chromosomique de base est de : n = 13 et les premières études cytologiques ont permis de classer les cotonniers en deux grands groupes :
— les espèces diploïdes avec 2n = 26 ;
— les espèces tétraploïdes avec 2n = 52.

Les espèces diploïdes ont été groupées en six catégories cytologiques ou génomes qui coïncident parfaitement avec des différences morphologiques d'ordre taxonomique.

Les espèces cultivées du vieux monde sont diploïdes :
— ***G. herbaceum*** à petites capsules rondes, à feuilles aux lobes arrondis et à bractées aux dents peu marquées ; tache rouge à la base des pétales.
— ***G. arboreum*** à capsules allongées, à feuilles aux lobes profondément marqués ; tache rouge à la base des pétales.

Les espèces cultivées du nouveau monde sont tétraploïdes :
— ***G. bardadense*** capsules allongées, fortement pustulées, feuilles lisses, fleur à colonne staminale longue le stigmate dépassant largement les étamines, tache rouge à la base des pétales jaunes.
— ***G. hirsutum*** capsules plutôt rondes et lisses, fleurs à colonne staminale courte le stigmate au niveau des étamines, pétales de blanc à crème, feuilles velues à très velues.



Les espèces sauvages dépourvues de lint sont des arbustes xérophytiques de régions semi-arides ou arides des tropiques. Elles peuvent être exploitées à des fins agronomiques pour les améliorations des cotonniers cultivés telles que la résistance de la fibre, sa longueur, sa finesse et les caractères de résistance de la plante à certaines maladies, à la sécheresse, etc.

2.2. Caractères et cycle

Le cotonnier est une plante arbustive pluriannuelle. Sa racine pivotante et ramifiée peut atteindre jusqu'à 3 m dans le sol. Formes, pilosité, couleur et grandeur du feuillage sont très variables suivant l'espèce et le cultivar ainsi que la forme et la grosseur des capsules. Les capsules ont de 3 à 5 loges. Les graines sont dites vêtues ou nues selon qu'elles sont ou non recouvertes de poils courts non enlevés par l'égrenage.

Cycle du cotonnier

On peut décomposer le cycle du cotonnier en 5 phases bien distinctes.

1. Phase de la levée : de la germination à l'étalement des cotylédons. Durée 6-10 jours à 30 jours.
2. Phase "plantule" : de l'étalement des cotylédons au stade 3-4 feuilles. Durée 20-25 à 35 jours.
3. Phase de préfloraison : du stade 3-4 feuilles au début de la floraison. Durée 30-35 jours.
4. Phase de la floraison. Durée : 50-70 jours.
5. Phase de la maturation des capsules. Durée : 50-80 jours.

Au total, la durée du cycle est de 166 jours dans les conditions les plus favorables et de 205 jours dans un milieu moins propice.

2.3. Principaux cotonniers cultivés

Les variétés cultivées appartiennent essentiellement aux espèces ***Gossypium hirsutum*** et ***Gossypium barbadense,*** accessoirement à ***G. arboreum*** et à ***G. herbaceum.***

Toutes les variétés cultivées sont en perpétuelle évolution, les croisements intervariétaux étant la règle pour l'obtention d'améliorations successives. Dès qu'une nouvelle variété donne satisfaction en expérimentation, elle est diffusée en grande culture et remplace progressivement la variété antérieure. Certains cultivars durent donc assez longtemps (10 ans) d'autres ont une vie brève. La classification des variétés cultivées est donc très artificielle, d'une portée très limitée, et sans réel intérêt. Seul le classement faisant intervenir des qualités de fibre ayant une portée commerciale peut être pris en considération et en particulier celui de la longueur des soies.

Courtes soies : Les espèces ***G. arboreum*** et ***G. herbaceum*** donnent des soies de ce type. Elles sont cultivées en Inde, au Pakistan et en Chine et sont utilisées pour la fabrication de pansements, ouate.

Moyennes soies : Variétés issues de l'espèce ***G. hirsutum***, pour leur très grande majorité, et créées par tous les grands pays cotonniers (U.S.A., Russie, Chine, Inde, etc.) possédant des services d'amélioration cotonnière.

Longues soies : Ce sont les variétés cultivées en Égypte, issues de l'espèce ***G. barbadense.*** Quelques autres pays dont les U.S.A. et la Russie en cultivent en très faible quantité. Elles servent aux usages de filature et tissage de haute qualité en raison de leur finesse et résistance.

Durant la campagne cotonnière 1987/88, les variétés (***G. hirsutum***) cultivées dans les pays africains francophones, créées par l'IRCT se répartissent ainsi :

IRMA 96-97	Sénégal, Cameroun, Tchad, Bénin
IRMA 12-43	Cameroun, Sénégal
ISA 205	Côte d'Ivoire, Burkina Faso
MK 73	Tchad, Bénin
IRCO 5028	Centrafrique, Cameroun
L 299-10	Bénin
SR1-F4-71	Centrafrique, Tchad
K 14	Tchad
Stam 84	Togo

3. ÉCOLOGIE

3.1. Besoins en chaleur

La température minimum à laquelle débute la germination des graines de cotonnier est de 12 à 13° C pour l'espèce ***G. barbadense*** et 14-15° C pour ***G. hirsutum***. En-dessous de ces températures, toute végétation s'arrête jusqu'à 4° C ; si l'on dépasse ce seuil, il y a d'abord destruction des feuilles puis ensuite celle de la plante elle-même. La croissance s'effectue surtout durant la nuit. Le cotonnier est une plante originaire des pays chauds dont la culture a été adaptée aux exigences de l'homme bien au-delà de ses limites de développement naturel.

3.2. Besoins en eau

Le cotonnier a besoin de plus de 700 mm d'eau durant son cycle végétatif. La répartition de celle-ci est extrêmement importante et en liaison étroite avec le développement et le cycle végétatif considéré. En début de végétation, les besoins sont modestes puisque le cotonnier est peu développé. Puis les besoins augmentent considérablement durant la floraison pour redevenir moins importants à la capsulaison malgré le grand développement de la plante.

Phases de développement	Jours après semis	Consommation d'eau en mm par jour
De la levée au 1ère bouton	10 à 45	1 à 2,5
1er bouton à la 1ère fleur	45 à 75	2,5 à 6
Maximum de la floraison	75 à 120	6 à 10
Fructification	après 120	4 à 5,5

3.3. Besoins en lumière

Il faut au cotonnier des régions très ensoleillées, surtout pour les phases de fructification et de maturation.

3.4. Besoins en sols

Le cotonnier demande des sols homogènes, profonds, perméables, frais dans leur sous-sol et riches en matières nutritives. Le cotonnier préfère les limons argilo-sableux ou sablo-argileux. Les terres trop humides ne conviennent pas. Le pH optimum se situe entre 6 et 7.

Le cotonnier s'accommode de sols salins tout en conservant une production rentable. Cela ne veut nullement dire que ces types de sols, généralement argileux, soient particulièrement recommandés : il y a toujours une baisse de production lorsque l'on dépasse une concentration supérieure à 2 pour 1000.

4. CULTURE

Le coton est une plante pluriannuelle cultivée en plante annuelle, en particulier pour limiter les dégâts des parasites.

Il exige beaucoup d'eau et de chaleur dans la phase végétative précédant la floraison.

Il est souvent placé en tête d'assolement : coton-sorgho-jachère pour des raisons pratiques (rémanence des engrais).

Dans certains pays, la culture est continue depuis des décennies sans que l'on constate de baisses de rendements en raison d'une fumure bien adaptée.

4.1. Semis

Poids de 1 000 graines non délintées : 70 à 150 g, suivant les variétés (le linter représente de 7 à 14 % du poids total).

Il s'effectue en terre profondément ameublie et rassise.

L'époque des semis doit être telle que la récolte ait lieu en saison sèche ; elle est donc étroitement liée au régime des pluies et aux conditions parasitaires.

Le semis se fait soit à la main, soit mécaniquement, en poquets ou en ligne, à plat ou sur billon. La densité de culture peut varier considérablement suivant la variété, l'espèce, la richesse du sol (ou sa pauvreté), l'emploi ou non de moyens mécaniques. Elle se situe en culture pure entre les limites extrêmes de 25 000 à 100 000 plants à l'hectare. Pour la facilité de l'entretien cultural, on adopte presque partout l'espacement de 80 cm à 1 m entre les lignes de cotonniers en faisant varier l'espacement entre les plants. Il faut se rappeler que des pieds trop proches (minim. de 20 cm) compliquent les travaux de désherbage quand ils ont lieu à la main.

On utilise des quantités de semences très variables pour le semis (15 à 50 kg) et le cultivateur doit toujours avoir à l'esprit les conditions défavorables de levées qui l'obligent à ressemer les plants manquants le plus tôt possible.

4.2. Entretien

Le démarrage se fait de 15 à 30 jours après le semis et à 1 ou 2 plants suivant la densité choisie.

Le premier **sarclage** a lieu au moment du démariage et est associé à un buttage des plants. Le second a lieu en début de floraison. A cette époque, le cotonnier recouvre le sol et ne devrait plus avoir besoin d'entretien cultural. L'utilisation des désherbants sélectifs se généralise en culture mécanique et est de plus en plus courante en culture manuelle.

4.3. Fumure

La fumure du cotonnier a comme rôle de corriger les carences ou déficiences naturelles des sols ou celles qui peuvent apparaître par une culture intensive.

L'azote est l'élément essentiel de la culture cotonnière dans presque tous les sols. Par ailleurs, l'expérimentation a mis en valeur sa meilleure efficacité lorsqu'elle est fractionnée moitié au semis, moitié à 50 jours de culture.

Les éléments P, K et S sont utiles suivant les régions et le bore est un élément dont il faut tenir compte en proportion modeste. Dans les pays et régions où l'on ne restitue pas aux sols les débris végétaux, la fumure de compensation doit comprendre au moins par hectare ($50\ N + 20\ P_2O_5 + 30\ K_2O + 3S$) si l'on ne veut pas appauvrir le sol. Dans le cadre d'une culture intensive les quantités à utiliser dans chaque région évoluent d'une année sur l'autre et sont diffusées par les services de régularisation en liaison avec les expérimentations conduites par l'I.R.C.T.

4.4. Irrigation

Deux types d'irrigation sont applicables au cotonnier :

— **l'apport complémentaire** pour venir au secours de la plante à certaines époques de son développement,

— **l'irrigation continue** en culture sans pluie.

Quel que soit le type utilisé, la quantité d'eau dépend de la nature du sol et du stade de développement du cotonnier. Nous avons signalé en 3.2. la consommation en eau par jour. Connaissant la capacité de rétention d'un sol, et sachant qu'au-dessous de 65 % de cette capacité la plante souffrira, donc qu'elle se libérera de fleurs et jeunes capsules, il est facile dans chaque cas de déterminer la cadence des irrigations et leur volume pour obtenir une récolte maximale.

L'eau peut être apportée par gravitation dans des canaux en terre ou en ciment ou par aspersion. La première méthode demande des travaux importants de nivellement de sol avant culture, la seconde nécessite une installation coûteuse de tuyaux à eau sous pression. Une étude préalable doit donc être faite dans chaque cas pour déterminer la technique la plus rentable. Dans l'hypothèse de disponibilités restreintes en eau, l'aspersion permet un plus juste calcul des volumes à utiliser.

4.5. Récolte

La récolte se fait **manuellement** dans de très nombreuses régions du globe. La main d'œuvre recueille le coton-graine dans des sacs où il est ensuite

acheminé vers l'usine d'égrenage la plus proche. Un ouvrier récolte de 20 à 50 kg de coton-graine par jour suivant l'importance de la production au moment de celle-ci.

La récolte **mécanique** a lieu dans les pays, en particulier, où la main d'œuvre est rare ou très chère. Elle demande un mode de culture adapté, des variétés à capsulaison groupée, une défoliation préalable du cotonnier et un équipement spécial de nettoyage des usines d'égrenage. C'est le cas des U.S.A., du Nicaragua, de l'U.R.S.S., de l'Australie et d'Israël.

Le cotton stripper, sorte de grand peigne qui passe dans les cotonniers arrache toutes les capsules sans distinction et donne un produit chargé d'une grande quantité d'impuretés (feuilles, capsules vertes ou malades, branches).

La récolte est de 1 400 kg/heure de coton-graine donc très économique mais le coton est déprécié. La récolte ne peut se faire qu'en une fois.

Le cotton picker ne récolte que les capsules mûres et l'on peut envisager dans certains cas de passer deux fois sur le même champ. La récolte est de 700 kg/heure et cette machine est la plus utilisée en culture intensive.

Une machine récente : **cotton combine** est une sorte de moissonneuse puisque les cotonniers sont coupés (en culture à haute densité) et séparés du coton-graine.

4.6. Rendements

Les rendements, comme ceux de toutes les productions agricoles, sont très variables suivant le pays, le sol, la pluviométrie, puisqu'ils sont en étroite liaison avec eux. La tendance générale est dans l'augmentation des rendements liée à une **intensification culturale** qui prend son essor dans de nombreux pays africains : emploi d'engrais et d'insecticides de plus en plus courant. Les rendements qui étaient, il y a peu de temps encore, de 500 kg/ha en Afrique francophone dépassent maintenant la tonne de coton-graine dans la majorité des pays. On signale des rendements records dans les cultures intensives d'Israël, de Californie, d'Amérique Centrale, entre autres, de l'ordre de 3 000 à 4 500 kg de coton-graine/ha.

La fibre représente généralement 85 % de la valeur de la récolte. La sélection cotonnière a fait faire à ce rendement en fibre un bond considérable depuis 25 ans. Toutes les nouvelles variétés mondiales du genre ***G. hirsutum*** donnent plus de 35 kg de fibre par 100 kg de récolte. Dans les sélections I.R.C.T. africaines, rares sont celles ayant moins de 40 % de fibre et certaines variétés dépassent 42 % en usine.

5. MALADIES ET ENNEMIS

Les méthodes de protection comprennent :

— la culture de variétés résistantes ou tolérantes à certaines maladies (notamment bactériose) et à certains insectes (notamment jassidés) ;

— le traitement des semences à base de fongicide et d'insecticide, contre les maladies des plantules et les ravageurs présents dans le sol, notamment les mille-pattes ; s'il s'agit d'un insecticide systémique, la protection est plus durable contre les piqueurs-suceurs des tiges et des feuilles ;

Maladies	Symptômes	Procédés de lutte
Bactériose (*Xanthomonas-malvacearum*)	Taches anguleuses d'abord translucides sur les feuilles ; chancres sur les tiges, rameaux et capsules.	Variétés résistantes. Désinfection des semences, destruction des débris.
Fusariose (*Oxyporum* et *vasinfectum*)	Attaque par la racine, jaunissement centripète des feuilles, noircissement des faisceaux vasculaires, mort du cotonnier adulte.	Variétés résistantes. Rotations.
Maladies des plantules	Fonte des semis.	Désinfection des semences et du sol.
Leaf-curl Mosaïque Maladie bleue	Maladie à virus transmise par *Bemisia* et *Aphis*. Déformation et stérilité des cotonniers.	Variétés résistantes. Traitement insecticides.
Anthracnose (*Glomerella gossypii*)	Plantules, tiges, feuilles et capsules.	Désinfection des semences.
Stigmatomycose (*Nematospora gossypii*) *N. coryli*	Mycelium introduit par les punaises dans les capsules (*Dysdercus, Nezara*) coton jaune.	Traitement contre les vecteurs.

— les pulvérisations d'insecticides sur la plante, qui se font d'après un calendrier déterminé d'avance et basé sur le cycle de développement du cotonnier et sur le potentiel productif de la culture. Les traitements sont déterminés pour chaque région, suivant l'évolution du parasitisme au cours de la saison, d'après les résultats de la recherche en essais régionaux ; ils sont établis à un niveau raisonnable dans le double souci de les rentabiliser et de ménager l'équilibre biologique, c'est-à-dire préserver les ennemis naturels des ravageurs et empêcher toute évolution de ceux-ci vers des formes de résistance aux insecticides.

Les pulvérisations se réalisent à l'aide soit de petits appareils à main, soit d'appareils portés sur tracteurs, soit par avion. En petites exploitations, c'est évidemment la première formule qui est retenue : les très petits appareils de type UBV (ultra bas volume), actionnés par moteur électrique à piles, ont presque entièrement remplacé les pulvérisateurs portés à dos d'homme, car ils suppriment les portages d'eau et allègent la charge de l'opérateur tout en réduisant les temps de travaux, mais ils exigent une plus grande attention pour une répartition satisfaisante de la pulvérisation.

Principaux insecticides utilisés contre les ravageurs du cotonnier (seuls ou le plus souvent en association de plusieurs matières actives)

Matière active	Efficacité
Pyréthrines de synthèse — deltaméthrine — ou cyperméthrine — ou fenvalérate — ou cyfluthrine — etc.	Très bonne contre les ravageurs de boutons, de fleurs ou de capsules (***Heliothis, Earias, Diparopsis, Pectinophora, Cryptophlebia***), moyenne contre phyllophages (***Spodoptera, Sylepta, Cosmophila***...). Très faible contre piqueurs-suceurs.
Composés organophosphorés — méthylparathion — ou triazophos — ou profénofos — ou chlorpyriphos — etc.	Polyvalente, bonne contre phyllophage et piqueurs-suceurs, y compris acariens.
— diméthoate	Bonne contre pucerons.

6. TECHNOLOGIE DE LA FIBRE

6.1. Composition de la fibre

Composition :

— Cellulose	94,0 %
— Protéine	1,3
— Substances pectiques	1,2
— Cendres	1,2
— Acides organiques et alcool	1,6
— Sucres totaux	0,3
— Divers	0,4

6.2. Caractéristiques

6.2.1. LONGUEUR

Caractère variétal héréditaire.

S'exprime en pouces et fractions de pouces (1/32).

Se mesure par :

— Pulling : on tire une mèche que l'on égalise à la main et mesure à l'œil en 1/32 de pouce : utilisation commerciale.

— Halo ou papillon : on peigne les poils autour de la gaine et on mesure suivant respectivement 5 ou 2 directions : utilisation en sélection.

Fibrographe : mesure d'un échantillon de fibre, peigné par un appareil spécial (fibro-sampler), à l'aide d'une cellule photo-électrique.

Le fibrographe est un appareil de laboratoire récent dont l'usage tend à s'étendre au commerce en raison de sa précision et de ses possibilités d'automatisation de mesure en cours de réalisation.

Le digital fibrographe qui est l'appareil le plus récent inscrit automatiquement sur ses cadrans :

— la longueur dépassée par 2,5 % des fibres les plus longues et qui a une très bonne corrélation avec le pulling ; elle est inscrite en mm ou en inch (pouce) et un millième d'inch. Cette lecture est appelée « 2,5 % Span lenght » (2,5 % SL) ;

— la longueur dépassée par 50 % des fibres, c'est-à-dire la longueur moyenne des fibres. Cette valeur n'a que peu d'intérêt en elle-même mais permet de calculer le **coefficient d'uniformité** ou

UR % calculé comme suit : $\frac{50\ \%\ SL}{2{,}5\ \%\ SL} \times 100.$

Cette uniformité est importante car elle est en relation avec les possibilités de filature et tissage et les pertes qui en résultent quand la fibre est irrégulière.

L'uniformité est : très bonne quand elle est supérieure à 51 % ; bonne quand elle est comprise entre 48 et 50 % ; moyenne quand elle est de 45 à 47 % ; passable de 42 à 44 % et médiocre en-dessous de 41 %.

6.2.2. TÉNACITÉ

C'est un caractère important car de lui dépend la résistance du fil et des tissus. La ténacité de la fibre et du filé est exprimée en

$$g/tex = \frac{\text{charge de rupture en g}}{\text{masse linéique en tex}}$$

Le **tex** est la masse en gramme de 1 000 mètres de matière textile (coton, artificielle, synthétique).

Deux appareils servent à la mesurer et donnent deux mesures propres à chacun d'eux.

Pressley strength tester est le plus employé dans le commerce. C'est en fait un dynamomètre de rupture d'un faisceau de fibre. Les valeurs sont données en une mesure conventionnelle **1 000 PSI** (1 000 livres par pouce carré de contrainte).

Stélomètre : basé sur un principe différent du précédent, il permet outre la mesure du g/tex celui de l'élasticité maximale avant rupture, caractère important en filature pour les mélanges de coton. Cette dernière peut varier de 4 à 12 %. Appareil essentiellement de laboratoire.

Mesure de la ténacité

Résistance	En 1 000 PSI	En g/tex stélomètre
Très résistante	plus de 95	> 25
Résistante	86 à 95	21,5 à 25
Moyenne	76 à 85	20 à 21,5
Faible	66 à 75	18,5 à 20
Très faible	< 65	< 18,5

6.2.3. MATURITÉ

Est fonction du degré de remplissage du lumen originel de la fibre.

Fibre morte = fibre réduite à la membrane primaire

Fibre immature = diamètre lumen > 50 % diamètre fibre

Fibre mûre = diamètre lumen ≤ 50 % diamètre fibre.

La maturité se mesure, soit par le comptage des fibres au microscope, préalablement gonflées par trempage dans NaOH à 18 %, soit par l'utilisation de maturimètre dont il existe plusieurs types donnant des indications qui leur sont propres. Par le comptage des fibres mûres, le pourcentage varie généralement de 75 % et plus pour le coton de très bonne maturité à moins de 50 % pour le coton de maturité insuffisante.

6.2.4. FINESSE

La finesse est une caractéristique spécifique, variétale, et dépendant aussi des conditions de culture. Il est difficile de la dissocier de la maturité.

On la mesure par un appareil basé sur la rapidité d'écoulement d'un fluide (l'air à pression constante) à travers une paroi poreuse (échantillon de fibre comprimé dans une chambre de volume connu).

Le fibronaire et micronaire mesure cette finesse en donnant un indice d'autant plus élevé que la fibre est grosse. Il varie de 3,5 pour une fibre très fine à plus de 5 pour les fibres de coton les plus grossières.

6.2.5. DÉCOLORATION

S'apprécie par comparaison avec standards ou par photocolorimétrie (Nickerson).

6.2.6. NEPPOSITÉ

Nep = bouton = agglomération de fibres mortes.

S'exprime par le nombre de neps au mètre carré de voile de carde.

240 = nepposité faible
240 à 465 = nepposité moyenne
465 à 705 = nepposité élevée
705 = nepposité très élevée.

6.3. Préparation et classement

6.3.1. ÉGRENAGE

Il consiste à séparer la fibre de la graine dont les usages sont très différents.

Une usine d'égrenage comprend un grand nombre d'appareils dont le but est de présenter le coton-graine dans de bonnes conditions à l'égreneuse : séparateurs pour éliminer les grosses impuretés, humidificateurs ou dessiccateurs pour que la fibre ait environ 7 % d'humidité. D'autres appareils nettoient la fibre de coton et d'autres la mettent en balles plus facilement transportables.

— Égreneuse à rouleaux

Réservée en général à l'égrenage des variétés à soies longues ou extra-longues ayant plus de 32-33 mm (1 1/4" de longueur).

Certains pays (Inde, Syrie, Ouganda) égrènent au rouleau des cotons moins longs.

Débit pour une égreneuse ayant au rouleau de 40" (1 m) : 30 à 40 kg de fibres par heure.

Puissance nécessaire pour actionner l'égreneuse seule : 2 à 3 ch.

— Égreneuse à scies

Il existe divers modèles d'égreneuses dont la caractéristique principale est liée à son nombre de scies et au débit de fibre de celles-ci. Les égreneuses qui à l'origine avaient environ 30 scies ont actuellement 128, 141 ou 224 scies

suivant la marque. Les scies ont elles-mêmes doublé de diamètre (18 pouces) et le débit par scie/heure peut atteindre 12 kg de fibre. Le débit industriel (celui qui n'abîme pas la fibre) est très variable car il dépend de facteurs nombreux et variables : humidité de la récolte et sa propreté, la maturité de la fibre. Trop rapides pour une récolte donnée les fibres risquent d'être cassées d'où l'apparition de nombreuses fibres courtes ; on constate aussi l'augmentation du nombre de neps. Dans les deux cas le coton est plus ou moins déprécié.

6.3.2. CONDITIONNEMENT

Après égrenage, la fibre est pressée dans des presses hydrauliques afin d'en augmenter la densité et rendre le transport plus facile et moins onéreux. Les balles sont pressées à 912, 385 ou 580 kg au mètre cube.

La fibre est protégée par une toile de jute, ou de coton sous laquelle certains pays adjoignent un léger film de plastique.

Les balles sont parallélépipédiques, maintenues à leurs densités par des feuillards ou des fils de fer, voire des cordages. Une balle pèse environ 500 livres anglaises, soit 220 à 230 kg, un poids exact étant impossible à respecter.

Chaque balle est marquée de son origine, de son classement local, d'un numéro d'ordre et de son poids brut.

6.3.3. CLASSEMENT

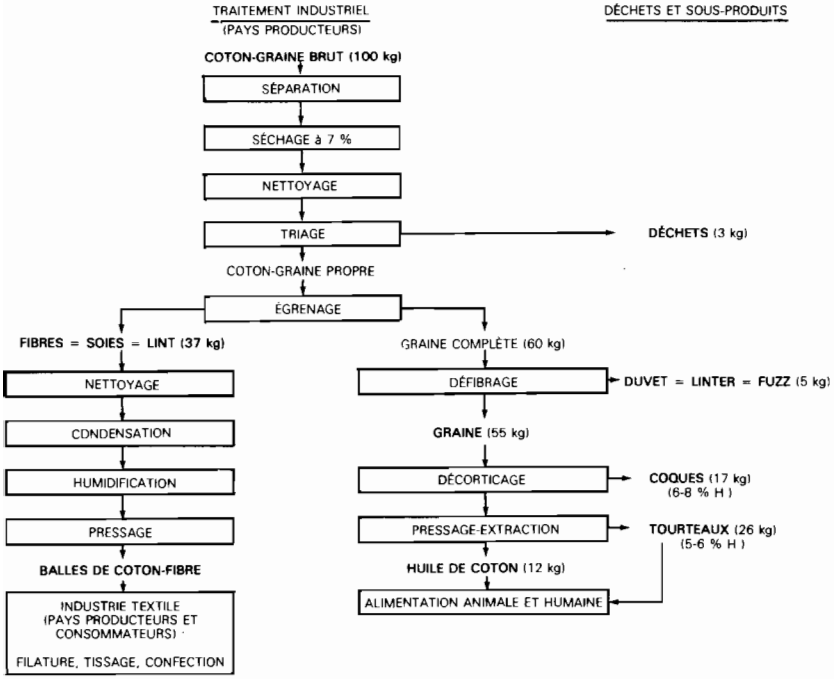
Sur chaque balle est prélevé, en principe, un échantillon double, dont l'un est conservé par le vendeur, et l'autre envoyé éventuellement à l'acheteur.

Le classement est effectué par des spécialistes appelés classeurs qui déterminent la longueur et le grade auxquels correspond la balle. Le grade international tient compte de la variation de couleur (il y en a 7) et de la quantité d'impuretés (il y a 13 classes). Parmi les combinaisons possibles, il y a 15 grades qui sont matérialisés dans des boîtes auxquelles se réfère le classeur et 24 grades qui sont décrits par comparaison aux précédents. Chaque grade a une valeur commerciale différente, le meilleur étant du type le plus blanc (white) avec peu d'impuretés (S.G.M. voir tableau ci-après) et le moins bon du type le plus gris (gray) chargé d'impuretés (good ordinary).

Classement du coton

Variation de la couleur	Variation des impuretés
1. White	1. Strict good middling
	2. Good middling
2. Light spoted	3. Strict middling
	4. Middling +
3. Spoted	5. Middling
	6. Stric low middling +
4. Tinged	7. Stric low middling
	8. Low middling +
5. Yellow stained	9. Low middling
	10. Strict good ordinary +
6. Light gray	11. Strict good ordinary
	12. Good ordinary +
7. Gray	13. Good ordinary

COTONNIER
SCHÉMA DE FABRICATION DES PRODUITS



H: Humidité (sur poids total)

6.4. La graine

Rapport graine/coton-graine = 55 à 67 % pour le groupe *hirsutum*
= 60 à 68 % pour le groupe *barbadense*.

Composition d'après les huileries industrielles :

Coque	20 à 30 %
Linters	0 à 15 %
Tourteaux	42 à 44 %
Huile	16 à 20 %
Déchets divers	4 à 6 %

L'huile de coton est couramment utilisée en alimentation humaine aux Amériques, moins dans d'autres pays où on l'utilise pour la margarinerie et savonnerie, entre autres. L'huile d'extraction de la graine est raffinée afin de la décolorer et d'éliminer les glycérides à haut point de fusion ainsi que le gossypol contenu dans les glandes des graines du cotonnier.

Les tourteaux, reste de l'extraction, servent actuellement dans l'alimentation du bétail et dans une proportion réduite comme engrais en particulier lorsqu'il y a eu des difficultés de conservation et acidification des graines.

Toutefois, l'apparition de nouvelles variétés sans gossypol ouvrent de nouveaux horizons à l'utilisation de ces tourteaux riches en protéines : on transforme ceux-ci en farines comestibles par l'homme et il n'est pas utopique de penser que dans un avenir proche le cotonnier sera une plante alimentaire appréciée puisqu'elle permettrait de combler un déficit protéinique souvent dramatique des pays producteurs de coton.

7. DONNÉES STATISTIQUES

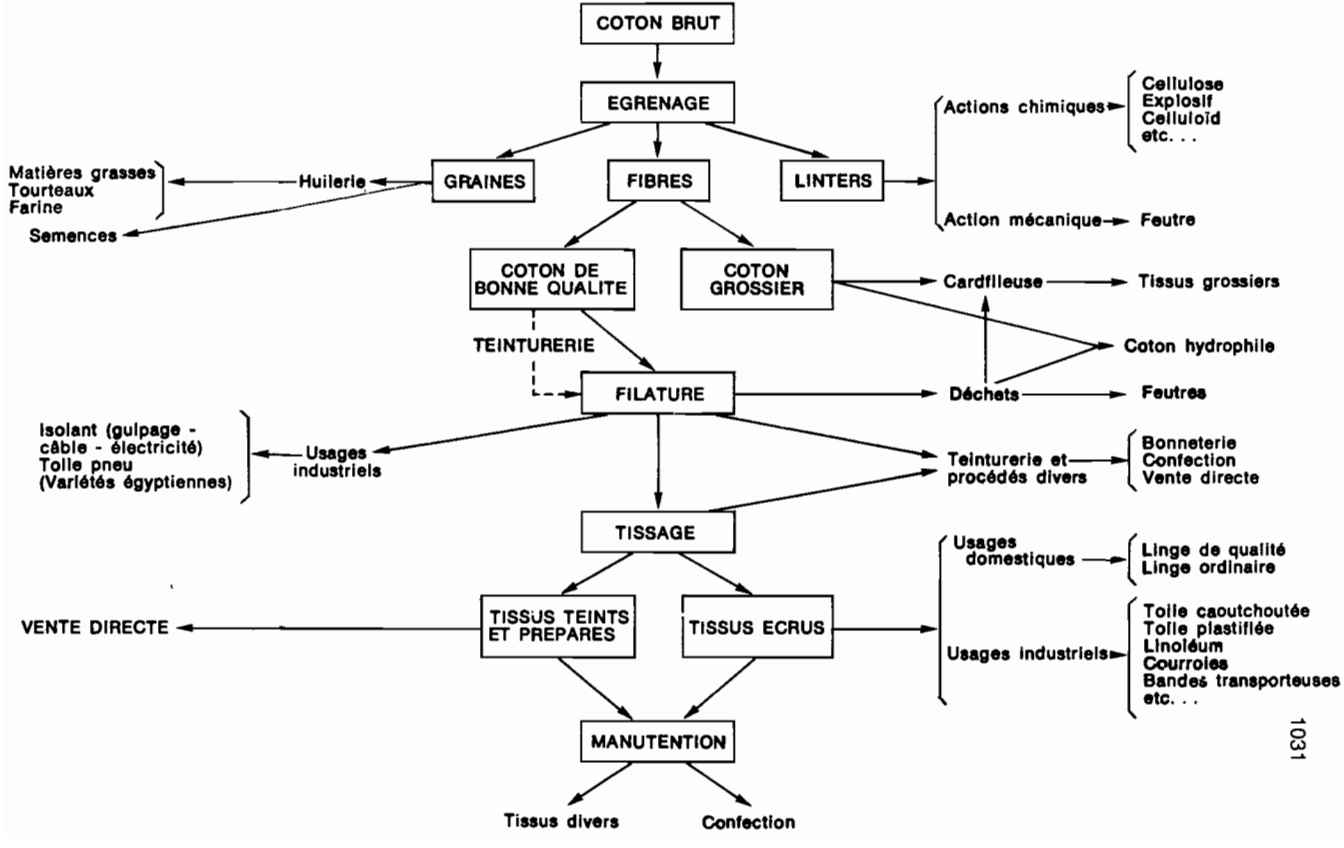
7.1. Temps de travaux

On prévoit :
— une unité de traction attelée pour 2 à 3 ha,
— une unité de traction motorisée pour 20 ha.

TEMPS EN JOURNÉE/HA

	Culture manuelle	Culture attelée		Culture semi-motorisée		
	Homme	Homme	Atte-lage	Homme	Atte-lage	Trac-teur
Préparation du sol	15 à 20 (houage)	8	+ 4	2		+ 1
Semis	5 à 10	5	+ 2,5	5	+ 2,5	
Sarclage démariage	30 à 35	21	+ 3	2		+ 1
Traitements	6 à 10	6 à 10		10		
Récolte (fonction du rendement)	50 à 60	60	+ 6	60	+ 6	
Arrachage des vieux cotonniers	6 à 10	6		6		
Total moyen	112/145	110	+ 15	85	+ 8	+ 2

RESUME DES TRANSFORMATIONS DU COTON-GRAINE



7.2. Production - Importations - Exportations (Source : I.C.A.C.) 1985-1986

Pays	Surface 1000 ha	Rendt kg/ha	Prod. 1000 t	Cons. 1000 t	Import. 1000 t	Export 1000 t
Amérique du Nord et Centrale	4544	719	3275	1674	119	607
Amérique du Sud	3380	388	1313	1021	110	352
Ouest Europe	275	872	240	1404	1252	53
Est Europe	25	360	9	622	664	62
URSS	3316	813	2702	2093	108	669
Asie-Océanie	11823	381	4358	4971	2197	1367
Chine	5138	806	4152	4315	—	615
Afrique	3683	343	1259	691	191	747
	32184	538	17308	16790	4641	4472

Classement des pays par ordre de production de fibre (1986)

1. Chine	4 152 000 tonnes métriques
2. USA	2 928 000 tonnes métriques
3. URSS	2 702 000 tonnes métriques
4. Inde	1 821 000 tonnes métriques
5. Pakistan	1 218 000 tonnes métriques
6. Brésil	831 000 tonnes métriques
7. Turquie	517 000 tonnes métriques
8. Égypte	436 000 tonnes métriques
9. Australie	259 000 tonnes métriques
10. Mexique	220 000 tonnes métriques

Production de fibre (en milliers de tonnes) des pays africains francophones

Pays	1970	1977	1986	Pays	1970	1977	1986
Côte d'Ivoire	12	37	83	Madagascar	9	13	19
Mali	20	45,5	68	Centrafrique	20	15,5	13
Cameroun	14	18,1	46	Sénégal	4	16,7	11
Burkina Faso	8	20,2	46	Maroc	6	8	8
Tchad	35	54	38	Zaïre	20	14	7
Bénin	14	7,4	32	Niger	3	2,5	2
Togo	2	2,8	27	Burundi	2	2	

KENAF

Malvacée — **Kenaf**
Hibiscus cannabinus — **Dah, Mesta**

1. BUTS DE LA CULTURE

La fibre d'hibiscus est utilisée comme le jute dans toutes les fabrications courantes à l'exception des emplois de luxe notamment le tissu d'ameublement.

2. BOTANIQUE

Le kenaf est une plante annuelle. Il est originaire de l'Afrique occidentale et a été introduit en Inde où il est largement cultivé. Actuellement, son aire de distribution est extrêmement vaste, aussi a-t-il reçu un grand nombre de noms locaux.

Malvacée à dominance autogame, le kenaf pousse rapidement pouvant atteindre 2 à 3 m en 100-150 jours. Il se développe mieux dans les conditions tropicales.

On distingue 5 types selon la forme et la couleur des feuilles, ainsi que la couleur des tiges (types *simplex, viridis, ruber, purpureus, vulgaris*).

Variétés :

Au Mali, BG 52-38 et sélections résistantes à l'anthracnose.

3. ÉCOLOGIE

3.1. Durée du jour

Il est extrêmement sensible à la photopériode (la floraison ne se déclenche que lorsque la durée du jour est inférieure à 12 heures pour les variétés tardives, à 12 h 30 pour les variétés semi-précoces et à 13 h pour les variétés précoces).

Ce seuil est important car suivant la latitude et les conditions climatiques de la zone cultivée, il conditionne le choix de la variété.

3.2. Pluviométrie

— 125 mm par mois de végétation. Total 500 à 625 mm.
— Période pluvieuse pour la croissance des tiges.
— Période sèche pour la maturité des capsules.

3.3. Température

Minimum : 14°.
Latitude : 5 à 40° N et S.

3.4. Sol

Sol bien drainé de fertilité moyenne.
Plante rustique, toutefois assez exigeante en azote.

4. CULTURE

La mécanisation de la culture est possible, mais elle a été abandonnée le plus souvent au profit de la culture manuelle sur les petites parcelles (20 ares) en raison de problèmes d'organisation du travail et de rentabilité.

4.1. Préparation du sol

Elle doit être suffisamment soignée pour assurer une levée correcte.

4.2. Semis

Bonne faculté germinative si les graines sont conservées normalement pendant l'intercampagne.

Poids de 1000 graines : 25 à 30 g.

La densité du semis est primordiale pour le dah. Elle influence en effet les caractères technologiques de la fibre obtenue. A mesure que l'on augmente la densité du semis, on constate une augmentation de la finesse des fibres, une diminution de l'indice de rigidité et un accroissement du rendement cultural.

L'écartement optimum des semis est voisin de 20 x 10 cm (500 000 plants/ha) et nécessite 20 à 30 kg de graines.

Pour l'obtention des semences, il est préférable d'effectuer un semis plus lâche : 50 x 10 cm, soit 15 kg de graines/ha pour favoriser la ramification donc la fructification.

4.3. Entretien

Un sarclage précoce est nécessaire. Ensuite la plante étouffe les adventices.

4.4. Fumure

N = 35 kg/ha au semis
25 kg/ha 40 jours après
P_2O_5 = 45 kg/ha
K_2O = seulement en sols carencés 50 kg/ha

4.5. Récolte

La récolte des tiges est faite au début de la floraison.

En général, les fibres situées dans la zone corticale des tiges sont extraites par rouissage bactériologique à l'eau, suivi de lavage, essorage, séchage.

En production industrielle, les tiges sont déboisées au champ et les lanières obtenues sont traitées dans des centres de rouissage dans les conditions optimales de température de l'eau des bacs.

4.6. Ennemis et parasites

Maladies	Symptômes	Traitements
Nématodes galligènes	Très fréquents	Assolement Rotation
Pourriture des racines	Assez rare	Désinfection des semences
Anthracnose *(Colletotrichum hibisci)*	Chancre des tiges	Sélection de variétés résistantes
Altises	Virulent sur champs semenciers	DDT

4.7. Rendements en fibres sèches

1 200 à 1 500 kg/ha pour variétés précoces
1 500 à 2 500 kg/ha pour variétés tardives.
La qualité des fibres varie suivant les variétés, le climat, les modes de culture et de préparation.

5. DONNÉES STATISTIQUES

5.1. Temps de travaux (en jt/ha)

Préparation du sol	25-40
Semis	10
Épandage d'engrais	3
Entretien	15-25
Coupe et bottelage	25-30
Transport	15-30
TOTAL	93-138

L'extraction des fibres nécessite 70-100 jours par tonne de fibre sèche.

5.2. Production Kenaf et Roselle (estimations F.A.O.) 1985

Pays	Surface x 1000 ha	Production x 1 000 t	Rendement moyen fibre kg/ha
Inde	300	247	820
Thaïlande	170	197	1 160
Égypte	—	5	—
Soudan	—	3	—
Mali *	0,339	0,2	590

* Données CMDT Bamako (1986-1987).

JUTE

Tiliacée — **Jute**
Corchorus — **Yute**

1. BUTS DE LA CULTURE

Les tiges contiennent dans leur zone corticale des fibres qui sont utilisées dans la fabrication de fils et cordes, de toiles d'emballage et pour la confection de sacs.

2. BOTANIQUE

La jute est une plante originaire de l'Inde (Bengale). Il existe de nombreuses variétés dans les deux espèces de *Corchorus.*

C. capsularis : la plus cultivée = fibre + claire, fruits longilignes marron = white jute.

C. olitorius : plus sensible aux inondations = fruits coniques verts à marron = tossa jute.

Plante annuelle herbacée dont la tige peut atteindre dans son pays d'origine 4,5 m de hauteur et un diamètre de 1 à 2 cm. Feuilles vert clair alternées, oblongues, de 5 à 10 cm de long, dentelées, les deux dents de la base plus longues.

3. ÉCOLOGIE

Sensible à la photopériode.
Pluviosité supérieure à 1 500 mm.
Température supérieure à 25° C.
Sols alluviaux frais, *C. capsularis* supporte des inondations temporaires.
Cycle : 120 jours à 150 jours.

4. CULTURE

Semis sur terrain très meuble, à la volée, environ :
— 12 kg/ha (capsularis),
— 8 kg/ha (olitorius).
Germination en 3 à 8 jours.
Éclaircissage laissant les plants de 10 à 12 cm les uns des autres.
Sarclage en début de végétation.
Récolte au début de la floraison (4 à 5 mois après semis).
Rouissage des tiges : 15 jours dans l'eau à 24-27° C.
Les rendements sont :
Fibres : 5 % du poids des tiges, 1 200 à 2 500 kg/ha.
Graines : 250 à 400 kg/ha.

5. MALADIES ET ENNEMIS

Signalés en Inde et au Bangladesh :

Insectes : *Anomalis sabulifera, Diacrina obliqua, Hemitarsonemus latus, Tétranychus bioculatus, Apion, corchori*, etc.

Maladies fongiques : par *Macrophomina phaseoli, Sclerotium rolfsii* et *Diplodia corchori,* etc.

6. TECHNOLOGIE

6.1. Caractéristiques de la fibre

PHYSIQUES
Fibre élémentaire : 1,6 à 2 mm
Fibre technique (filasse) : de 2 à 3 mm de long
Longueur de rupture : 30 à 40 km
Indice de rigidité : 1,5 à 1,7. Allongement avant rupture : 1 %
Fibres hygroscopiques. Taux de reprise = 12 % (réel) ; 13,75 % (commercial).

CHIMIQUES
Cellulose totale 64-78 %
Lignine 11-14 %
Pentosanes 1,5-1,8 %
Cires et graisses 0,2-0,4 %
Cendres (Mat. Minérales) 1 %

6.2. Conditionnement et classement

Pressage en balles de 180 kg à 400 kg/cm^2 (dimensions = 120 x 52 x 52 cm).

Classement de la filasse :

- **WHITE JUTE**
  - — **Pak white special** : blanc-blanc crème, qualité supérieure à tout point de vue.
  - — **Pak white A** : blanc ou crème clair. Texture fine.
  - — **Pak white B** : crème clair ou couleur paille. Bonne texture.
  - — **Pak white C** : gris clair-rouge ou couleur paille. Bonne solidité.
  - — **Pak white D** : toutes couleurs. Solidité moyenne.
  - — **Pak white E** : toutes couleurs. Peu solide.
- **TOSSA JUTE**
  - — **Pak tossa special** : couleur uniforme doré-rouge. Texture très fine.
  - — **Pak tossa A** : (a) couleur uniforme, gris argent à doré.
    (b) couleur uniforme, dorée à rougeâtre.
  - — **Pak tossa B** : (a) gris clair à moyen/gris rougeâtre. Fibre propre.
    (b) gris clair/rougeâtre ; à l'exception du gris foncé.
  - — **Pak tossa C** : diverses couleurs. Solidité moyenne.
  - — **Pak tossa D** : diverses couleurs. Solidité moyenne.
  - — **Pak tossa E** : couleur variable. Solidité variable.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux

En Inde par exemple, le travail requis par un hectare de plantation de jute (pour un rendement de 877 kg de fibre rouie) est en moyenne de 189 journées de 7 heures, se répartissant ainsi :

labour-fumure	30,5
semis (à la volée)	6,5
sarclage	72,5
coupe	27
rouissage	13
défibrage lavage	32
séchage	7,5
	189

7.2. Production jute 1985

PAYS	Surface x 1 000 ha	Production x 1 000 t	Rendement kg/ha
Inde	860	1 075	125
Bangladesh	607	922	152
Monde	3 218	6 741	2 095

KAPOKIER (ou FROMAGER)

Bombacée
Ceiba* et *Bombax

Kapok, Ceiba
Silk Cotton Tree
Capoc

1. BUTS DE LA CULTURE

La capsule de kapok donne une fibre légère imperméable, imputrescible et qui n'est pas attaquée par les insectes.

Elle est utilisée pour les rembourrages des coussins et matelas et pour les ceintures de sauvetage (porte 35 fois son poids).

Elle se file difficilement en raison de l'absence de vrillage. Les essais de vrillage artificiel se sont soldés par des échecs jusqu'à ce jour.

Le kapokier peut être utilisé comme arbre d'ombrage (cacaoyer) ou comme tuteur vivant pour le poivrier.

Les sous-produits sont :

Les graines (26 à 30 % du poids des capsules) qui fournissent une huile comestible ou de savonnerie (teneur 20 à 25 %).

Le tourteau (4 à 5 % N et 2 % P_2O_5) qui peut être utilisé en alimentation du bétail.

Le bois est sans grand intérêt.

2. BOTANIQUE

La fibre est constituée par un poil interne des parois (andocarpe) de la capsule.

On rencontre trois grands genres :

Le genre CEIBA qui comprend :

— *C. pentandra Gaerthn* (fromager) qui donne le kapok de Java et que l'on trouve en Asie, Amérique Centrale et Afrique.

— *C. aesculifolia* Britt et Baker (pochotte) qui se trouve au Brésil et au Guatémala.

— *C. acuminata* (pochotte du Nord) qui monte jusqu'au Mexique du Nord et supporte les gelées.

Le genre *Bombax* qui comprend :

— *B. ceiba* qui donne le kapok de l'Inde et du Vietnam, d'Afrique, d'Amérique et des Antilles.

— *B. buonopozenze P. de B.* que l'on trouve en Afrique.

— *B. globosum Aubl.*

— *B. heptaphyllum L.*

Le genre *Chorisia* ne comprend qu'une seule espèce intéressante : *Chorisia insingui* que l'on rencontre dans les régions sèches du Pérou, de l'Équateur et en Argentine.

Le vrai kapok, et le plus beau, est celui fourni par la fibre des fruits du *Ceiba pentandra.*

	Tronc	Rameaux	Fleurs	Capsules	Fibres		Caractéristiques intéressantes
					Couleur	Longueur	
C. pentandra	30-40 m épineux ou non	Horizontaux	Jaunâtre	Déhiscentes ou non	Jaune clair	15 à 30 mm	Variétés indéhiscentes
B. buonopozenze	20-25 m épineux au jeune âge	Non étagés	Rouge écarlate	Déhiscentes	Blanc ou beurre	20 à 35 mm	Meilleure adaptation à sécheresse

3. ÉCOLOGIE

La ceiba prospère dans des pays présentant une pluviosité de 1 000 à 1 500 mm avec une saison sèche (floraison). Le bombax peut se contenter de 800 mm.

Une température de 20° C est nécessaire à une bonne pollinisation.

Les terres doivent être profondes, fraîches, perméables et bien drainées.

4. CULTURE

4.1. Multiplication

Elle peut se faire par semis ou par boutures : les semis donnent des arbres

plus grands et plus tardifs, n'entrant en production qu'à 5 ans ; les boutures donnent des arbres plus petits, de moindre longévité, entrant en production à 3 ans.

— Le semis est fait en pépinière, on ne garde que les plants inermes (50 %) qui seront mis en place à 10 m en tous sens lorsqu'ils auront de 12 à 18 mois.
— Le bouturage se fait en partant des tiges orthotropes : groupe de 2 à 3 tiges de 2 m de long et 10 cm de diamètre enterrées de 0,50 m à des distances de 6 à 7 cm. On démarie à un seul plant par la suite. Ce procédé permet de reproduire les plants sélectionnés.
— **Greffage :** pour reproduction végétative de plants sélectionnés lorsque le porte-greffe a 6/8 mois.

4.2. Taille

On conduit à une ou trois tiges.

Les branches les plus basses sont les plus productives, étêtage à 1,60 m. Suppression des gourmands et du bois mort.

4.3. Récolte et rendement

La floraison a lieu à la chute des feuilles (saison sèche) et s'étend sur 3 mois. La fructification a lieu 2 1/2 à 3 mois plus tard.

La production est rentable jusqu'à 15/20 ans.

La récolte se fait avant l'éclatement des capsules, lorsqu'elles sont déhiscentes, car les pertes par le vent sont alors importantes.

Le rendement en fibre est compris entre 20 et 25 % du poids de la capsule.

Le rendement est de 200 kg/ha en Afrique et de 300 à 500 kg/ha à Java.

5. PRÉPARATION ET CONDITIONNEMENT

La fibre est séparée de la coque (après ouverture de celle-ci) par ventilation, puis pressée légèrement en balles pour la commercialisation.

L'avenir du kapok est très incertain en raison de la concurrence des fibres synthétiques et artificielles et des nouvelles matières multi-cellulaires et expansées.

RAMIE

Urticacée
Boehmeria

China Grass, ramie
Ramie

1. BUTS DE LA CULTURE

La tige de la ramie contient des fibres d'origine libérienne qui sont utilisées dans la fabrication des cordages, ficellerie, sacherie, poudrerie et papeterie de

qualité. Elles servent également pour la filature et la confection de tissus d'ameublement et de ménage (nappes, serviettes, etc.) en raison de sa haute résistance et de son aspect soyeux agréable.

Les feuilles peuvent être utilisées en alimentation du bétail soit directement en vert soit sous forme de farine, en raison de sa haute valeur fourragère (Floride).

2. BOTANIQUE

Originaire de l'Asie orientale, la ramie y est exploitée depuis des temps immémoriaux.

Il existe deux espèces de ramie :

— *Boehmeria nivea* ou ramie blanche des pays subtropicaux et tempérés. Son nom lui vient du duvet abondant et blanc de la face intérieure des feuilles.

— *Boehmeria utilis* ou ramie verte essentiellement tropicale.

Les tiges sont dressées de 1,5 à 2 mètres pour *nivea*, plus hautes pour *utilis*.

Les fleurs sont groupées en panicules de fleurs monoïques dont les femelles sont en général au sommet.

Certaines racines sont renflées et contiennent des réserves (racines tubéreuses).

3. ÉCOLOGIE

Les besoins de la ramie verte sont très différents de ceux de la ramie blanche, puisque la première est tropicale et que la seconde pourrait s'accommoder de la France.

Ramie verte : 1 200 mm de pluie au minimum.
Température supérieure à 25 °C.
Sols fertiles, bien drainés, riches en matières organiques.
Ramie blanche : 1 000 mm de pluie.
Températures supérieures à 25° C durant au moins deux mois.
Sols légers, craint l'humidité qui fait pourrir les racines.

4. CULTURE

4.1. Conduite

La mise en place de la culture s'effectue à un écartement d'environ 1 x 0,4 m à partir :

— d'un repiquage de jeunes plants de 2 à 3 mois semés en pépinières,

— ou de la division des racines tubéreuses (la plus courante).

Chaque plante mère fournit très rapidement un grand nombre de tiges (souvent plus de 10) la culture comprenant ainsi plus de 200 000 tiges/ha.

4.2. Entretien

Sarclage d'abord, puis scarification et fumure après chaque coupe.

4.3. Fumure

Plante épuisante, nécessité d'apports importants, surtout en potasse. Trop d'azote amène un développement excessif des feuilles au détriment des fibres. Application après chaque coupe.

4.4. Récolte et rendements

La récolte doit avoir lieu avant la floraison quand les tiges cessent de s'allonger.

La coupe s'effectue en général à la main ou mécaniquement, à 20 cm du sol.

On effectue de 2 à 6 coupes par an. Les tiges avec feuilles donnent 60 % de tiges effeuillées dont on extrait 4 % de lanière produisant 2 % de fibre. La récolte annuelle varie de 1 à 2,5 tonnes de fibre/ha en culture industrielle.

5. MALADIES ET ENNEMIS

La ramie est très résistante aux insectes et aux maladies. Certaines chenilles de noctuelles sont très friandes de ses feuilles.

6. TECHNOLOGIE

6.1. Extraction

Elle s'exécute dès la récolte et comprend trois opérations :

— **Décorticage** : consistant à éliminer le cylindre central ou bois de la tige. On ne conserve que les lanières contenant la fibre. L'opération s'effectue avec un appareil servant également au dah et au jute.

— **Dépelliculage** : qui enlève l'épiderme liegeux des lanières. Cette opération s'effectue soit à la main, soit au cours du décorticage.

— **Dégommage** : qui est une opération chimique consistant à dissoudre les matières pectiques soudant les fibres entre elles.

6.2. Caractéristiques de la fibre

La fibre de ramie est l'une des rares d'origine interne à être utilisée individuellement.

Les caractéristiques de la fibre sont données dans le tableau page 000. On remarque la très bonne longueur des fibres individuelles (vrillées donc filables), l'exceptionnelle finesse de celles-ci, leur bonne souplesse (faible rigidité) et leur résistance élevée.

Comme le coton, la ramie a une fibre composée de cellulose très pure (99 à 99,5 %).

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1.Temps des travaux (en jt/ha)

Cambodge :	
— Préparation du sol	34
— Plantation	40
Total Création	74
— Entretien	43
— Récolte (2 coupes)	60
Total 1re année	177
2e année et suivantes	140

RAPHIA

Il vit dans les marécages forestiers et sa feuille rappelle celle du palmier à huile, mais sa taille est souvent réduite.

Ses fruits, ovoïdes et recouverts d'écailles vertes ou rougeâtres, sont groupés en régime.

Les raphias fournissent : des nattes, des crins, et des lanières très souples qui, lavées et séchées au soleil, sont employées en particulier pour la fabrication de la rabane.

RÔNIER

Borassus

Le rônier vit dans les régions sahéliennes et dans les savanes.

Jeune, le rônier présente une touffe de feuilles en éventail, sortant du sol. A mesure que le tronc se développe, il reste longtemps emprisonné par les pétioles des feuilles ; puis le stipe s'élève et présente un renflement caractéristique, parfois deux dans sa partie supérieure.

Comme les dattiers, les rôniers comportent des arbres mâles et des arbres femelles. Les fruits sont arrondis, d'un jaune orangé et peuvent être consommés (les éléphants en sont très friands).

Très résistant, le stipe du rônier est utilisé dans la construction. L'amande du fruit, séchée et durcie, peut être utilisée pour faire des boutons.

Les feuilles fournissent une fibre employée en sparterie et corderie.

ROSELLE (Oseille de Guinée)

Malvacée **Roselle**
Hibiscus sabdariffa **Agrio de Guinéa**

La roselle comprend 2 races :
La race *sabdariffa* dont le calice est comestible.
La race *altissima* :
— Plante de plus haute taille, connue depuis une soixantaine d'années dont la tige fournit des fibres ayant beaucoup de points communs avec le kenaf. C'est un mutant de la race comestible. Il est surtout cultivé en Asie (Thaïlande, Inde, Indonésie, Vietnam).
C'est une plante autogame.
— Types rouge violet ou verts, de 0,5 à 3 m de haut (types rouges généralement moins hauts que les types verts).
— Feuilles alternées, découpées, polymorphes.
— Fleurs jaune pâle à œil rouge foncé dans le type rouge et jaune dans le type vert.
— Variétés : Pokoe, THS 22 (cultivées en Côte d'Ivoire).
Elle demande :
— Une distribution de 800 à 1 600 mm de pluie en période continue d'au moins 6 mois.
— Température de 18 à 35° C.
— Photopériodisme très net, floraison en durée de jour inférieure à 11 h 45.
— Bonne insolation nécessaire pour une production de fibre satisfaisante.
— Latitude comprise entre 20° de latitude N et 30° de latitude S.
— Sols bien drainés.
— Cycle : 150 jours minimum ; 180 jours donnent une meilleure fibre.

En ce qui concerne la culture, on peut appliquer les mêmes règles que pour le kenaf avec la récolte en début de floraison.

Plante résistante aux nématodes et à l'anthracnose mais très sensible aux fontes de semis et au rhizoctonia (surtout le type vert).

Rendements identiques au kenaf : 1 000 à 1 500 kg/ha de fibres sèches.

Les procédés de défibrage sont ceux du jute et du kenaf (rouissage à l'eau).

ROTINS

Calamus spp. **Rattan (palm)**

Ils se présentent sous la forme de lianes épineuses, souvent très longues, qui encombrent les sous-sols forestiers et envahissent les grands arbres.

Leurs rameaux assouplis fournissent des liens et un matériau permettant la confection de sièges, petits meubles, paniers, corbeilles, etc.

SISAL

Agavacée — **Sisal**
Agave — **Sisal, Maguey, Yaxci, Hennequen**

1. BUTS DE LA CULTURE

Le sisal est une plante essentiellement cultivée pour les fibres de ses feuilles.

Les **fibres longues** servent à la fabrication de cordages de marine, de cordes, de ficelles, de sacs, de nattes, de tapis, de tentures, de chapeaux, etc.

Les **fibres courtes** servent à la fabrication de rembourrages, de tissus légers, de matières plastiques, de matériaux de revêtement mural, de papier, etc.

En plus des fibres, les feuilles contiennent de la **pulpe** qui sert à préparer de l'alcool, de l'acide malique, des pectines et des pectates, des cires, de la chlorophylle, de la cortisone, etc.

Les **racines** servent à produire certains médicaments, à préparer une teinture rouge pour la coloration de la soie, à fabriquer du savon (pour quelques variétés d'agaves seulement).

Les **hampes florales** servent de matériaux de construction (cases, magasins, clôtures, etc.) et après décorticage, peuvent être utilisées comme matière première pour la fabrication de panneaux insonores et isolants thermiques.

Les déchets d'usinage comprennent de la pulpe et de la bourre utilisées comme fumure organique (compost) et des effluents qui peuvent être utilisés comme adhésif pour les bouilles cupriques.

2. BOTANIQUE

2.1. Principales variétés

Originaires du Mexique, les agaves fournissent des fibres dures extraites de leurs feuilles. On distingue parmi les plus utilisées :

A. sisalana : Sisal vrai = feuilles vert foncé à bords lisses de 1,25 à 1,75 m de long sur 10 à 15 cm de large.

A. cantala : Cantala, Maguey ou Sisal de Manille = feuilles vert-bleu à bord épineux de 1 à 2 m de long sur 6 à 10 cm de large.

A. fourcroydes : Sisal du Yucatan (Henequen) = feuilles vert-gris de 1,50 à 2,25 m de longueur sur 10 à 15 cm de large, à bords garnis de crochets épineux.

A. letonae : Sisal du Salvador.

A. heteracantha : Ixtle ou Crin de Tampico.

Des agaves peut être rapproché le **Fourcroya** fournissant le chanvre de Maurice (*F. gigantea* à feuilles flexueuses, glauques, de 1,5 à 2,5 m de long sur 12,5 à 20 cm de large, plus molles que celles des sisals, difficiles à défibrer et de faible rendement).

2.2. Caractères

A. sisalana est une plante herbacée à tige à entre-noeuds très rapprochés portant des feuilles épaisses, terminées par une épine aiguë, groupées en

rosette d'où émerge en fin de végétation une hampe florale pouvant atteindre 6 m de long. Fleurs nombreuses normalement stériles. La plante émet des stolons souterrains donnant des **rejets.**

Des **bulbilles** apparaissent aux points d'insertion des fleurs lorsque celles-ci tombent.

Une mutilation de la hampe florale fait apparaître sur la plaie, des rejets qui sont susceptibles de donner des fleurs fertiles (utilisation pour l'amélioration génétique).

3. ÉCOLOGIE

Le sisal est très plastique, s'accommodant de climats très secs et de sols très pauvres, mais son rendement s'en ressent grandement (cycle végétatif très allongé), ainsi que la qualité des fibres (plus colorées et plus « dures »). Pour que l'exploitation soit rentable, il est nécessaire que l'on ait une pluviosité comprise entre 800 et 2 000 mm (Java 3 000 mm), aussi bien répartie que possible (régularité de la sortie des feuilles, possibilité de renouveler régulièrement la plantation).

Dans une certaine mesure, le manque de pluies peut être compensé par des précipitations occultes (rosées, brouillards) surtout en terrain sableux en raison de l'enracinement superficiel abondant.

Le sol le plus favorable est alluvionnaire, léger, bien drainé, calcaire, pH voisin de 6.

Le cycle végétatif est très variable suivant les conditions écologiques : 6 à 8 ans. Au-delà, l'exploitation n'est plus rentable. Au cours de ce cycle, la plante émet 200 à 250 feuilles exploitables.

4. CULTURE

D'une façon générale, il est nécessaire que l'usine de défibrage soit au centre de la plantation, car en raison du faible rendement des feuilles en fibres (3,2 à 3,5 %) les résultats de l'exploitation sont dans une large mesure fonction de l'économie des transports.

L'emplacement de l'usine est fonction de l'approvisionnement en eau (10 à 12 litres/seconde par défibreuse).

4.1. Multiplication

Par bulbilles de préférence, pour assurer une bonne homogénéité de la plantation (âge plus certain). De plus, les jeunes plants issus de bulbilles résistent mieux à la pourriture lors de la transplantation.

Les bulbilles sont mises en pépinière à 30 cm en tous sens.

4.2. Préparation du sol

Labour profond et sous-solage.

4.3. Mise en place des bulbilles

Ayant environ 50 cm (6 à 12 mois de pépinière) à racines nues, après séchage de quelques jours, à la densité de 6 à 10 000 plants/ha.

EXEMPLE : rangées de 2 lignes jumelées à 0,75 m, distantes de 3 m, avec intervalle de 0,75 sur les lignes = environ 8 000 plants/ha.

Remplacement des manquants au cours de la 1re année seulement. Il est nécessaire de prévoir un roulement dans les mises en place de façon à assurer plus tard une production régulière des feuilles.

4.4. Entretien

Sarclages pendant le jeune âge et après les coupes de feuilles.

Suppression des drageons.

On peut faire une culture intercalaire la première année, mais ce n'est pas recommandé (concurrence, dégâts sur jeunes plants).

4.5. Fumure

Le retour des déchets de défibrage est excellent mais ne peut être le plus souvent effectué en raison du volume à transporter qui le rend difficilement rentable. Il est nécessaire, dès lors, de fumer aux engrais minéraux = N et K surtout, dont la déficience se manifeste par une coloration jaune des feuilles.

4.6. Récolte

Il existe deux méthodes :

— **Classique** : 2 à 4 coupes par an ; point de coupe déterminé par angle des feuilles avec la verticale = 40 à 50°. Durée de l'exploitation : 3 à 4 ans.

— **Totale** : on coupe toutes les feuilles à 3 ans 1/2.

La coupe classique donne une production de 20 à 30 % supérieure à la coupe totale, celle-ci donnant toutefois une plus forte proportion de fibres courtes.

4.7. Rendements

$\frac{\text{Fibre}}{\text{Feuilles}}$ = 3-4 %, une feuille contient 10 g de fibres au minimum.

— Un plant produit de 200 à 250 feuilles dans un cycle de 6-8 ans.

— Tonnage de feuilles vertes/ha/cycle : de 150 à 330 t.

— Tonnage de fibres/ha/cycle : de 5 à 11 t.

Peut atteindre 18 t à Madagascar et en Centrafrique.

On considère qu'une sisaleraie, pour être rentable, doit couvrir au minimum 250 ha parfaitement bien conduits (2 défibreuses).

5. MALADIES

Elles sont rares. On peut citer :

— Pourriture des jeunes plants.

— Pourriture du coeur.

— Carences;

6. TECHNOLOGIE

6.1. Transport

Les coupeurs lient les feuilles par paquets de taille déterminée (facilité du contrôle de la tâche) et les transportent en bout de ligne. Transport mécanique du bout de ligne à l'usine par un moyen aussi économique que possible (camions-bennes, train de remorques, loco-tracteurs suivant le terrain et la taille de l'exploitation).

6.2. Transformations

— **Défibrage** : est précédé d'un tri des feuilles récoltées par longueur pour faciliter le conditionnement ultérieur.
Doit être effectué le jour de la coupe (flétrissement), soit au raspador (250 kg/jour pour deux hommes et un moteur de 2 CV) pratiquement abandonné (pénible et pas rentable), soit par machines industrielles (Corona, Robey, Stork) pouvant traiter 60 000 à 100 000 feuilles/jour (2 à 3,5 t de fibres) sous jet d'eau.

— **Séchage** : les fibres sont séchées, soit au soleil directement, soit au soleil après essorage, soit à l'air chaud.

— **Brossage** : destiné à éliminer les déchets provenant des débris de parenchyme encore adhérents et les tiges trop courtes ou cassées (étoupe).

— **Triage** : suivant longueurs (105, 90, 75 et 60 cm).

— **Ensimage** : éventuel afin d'améliorer la présentation.

Caractéristiques de la fibre : la fibre technique est blanc-crème et mesure en moyenne 1 m de longueur. La fibre élémentaire mesure de 2 à 4 mm de long sur 20 à 30 microns de large.

6.3. Classement

(Classement Est-Africain), balles de 500 livres (227 kg)

Grades	Longueur (cm)	Couleur et défauts
I	Moyenne 105 ≥ 90	Blanc, sans défaut ni bourre
A	≥ 90	Légèrement teinté, sans défaut ni bourre
II	≥ 75	Légèrement teinté, sans défaut ni bourre
III long	≥ 90	Avec défauts, sans bourre
III	≥ 60	Avec défauts, sans bourre
SCWF (1)	45 à 60	Sans défaut
Rejets	≥ 60	Non classé en III en raison de la couleur
Etoupe I		Blanche ou crémeuse, propre
Etoupe II		Crème plus accusé

(1) Short, clean, white fiber.

7. DONNÉES STATISTIQUES

7.1. Temps de travaux

Récolte et usinage

Rendement en kg de fibres/ha	1 000	2 000	4 000
Temps de travail	110	220	440

7.2. Économie

La production de fibre de sisal est mise en danger depuis l'abandon de la moissonneuse et l'utilisation de plus en plus généralisée de fibres synthétiques.

URENA ou PAKA

Malvacée — **Indian Mallow**
Urena lobata — **Malva**

1. BUTS DE LA CULTURE

Utilisations voisines de celles du jute.

2. CARACTÈRES

Arbrisseau de 1 à 3 m.

3. ÉCOLOGIE

Sols riches surtout en K_2O et de bonne structure.
Eau : humidité constante nécessaire.
Cycle : 120 à 150 jours.

4. CULTURE

4.1. Multiplication

Bonne préparation du sol.
Semis 60 à 80 kg à l'ha.
Ratissage et roulage (enterrer les graines à 2 cm).
Levée en une semaine (un trempage ou un décorticage au décortiqueur à paddy améliorent la levée).

4.2. Récolte

Coupe à la floraison (avant : fibres fines et souples, mais rendement plus faible ; après : fibres plus raides, rouissage difficile), à 10 cm du sol à la main ou par barre de coupe renforcée.

4.3. Rendement

1 000 à 3 000 kg de fibres/ha.
Rendement en fibres par rapport à la matière verte : 3 %.
Rendement en fibres par rapport aux tiges sans feuilles : 7 %.

5. MALADIES

L'urena est particulièrement sensible au chancre de la tige.
On peut lutter par la création de variétés résistantes.

6. TECHNOLOGIE

6.1. Préparation et classement

Extraction aussitôt après récolte par rouissage sur tiges ou de préférence sur lanières (décorticage mécanique difficile) : 8 à 10 jours dans eau à 30/32° C ; on peut aussi dégommer chimiquement (cf. ramie). Séchage. Classement voisin de celui du jute.

6.2. Fibres

De caractéristiques et d'emploi d'un bon jute (cf. Caractères physiques des fibres, pp. 178-179).

TROISIÈME PARTIE

ÉLEVAGE

ALIMENTATION DU BÉTAIL

ZOOTECHNIE

HYGIÈNE ET PATHOLOGIE

AVICULTURE

APICULTURE

PISCICULTURE

CHAPITRE XVI

ALIMENTATION DU BÉTAIL

I

ALIMENTATION

INTRODUCTION

Au cours des deux dernières décennies, des progrès considérables ont été réalisés dans le domaine de la connaissance de la valeur alimentaire des aliments du bétail et des besoins nutritionnels des animaux. Ils se sont traduits par l'élaboration de nouveaux systèmes d'évaluation et d'expression des quantités d'aliment ingérées ainsi que des apports et des besoins en énergie et en azote.

L'application de ces nouvelles normes à l'alimentation du bétail tropical ne pourra cependant être que progressive et nécessite de nombreuses expérimentations pour :

— évaluer la valeur alimentaire de nombreux aliments, celle-ci ne pouvant être estimée directement à l'aide des modèles de prévision mis au point pour les fourrages tempérés ;
— mieux connaître les facteurs de variation des quantités ingérées par les animaux ;
— vérifier que les recommandations d'apports en énergie, azote et minéraux mises au point en zone tempérée sont applicables, directement ou après corrections, à l'élevage tropical.

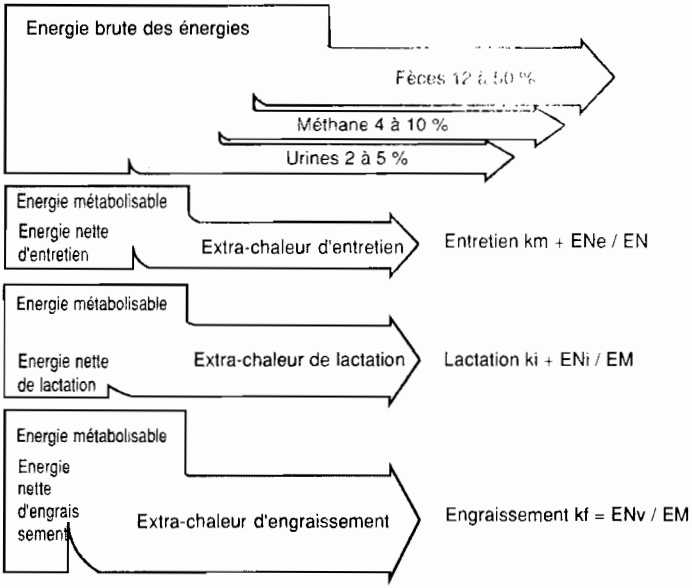
Enfin, il ne faut pas oublier que l'essentiel du cheptel tropical est élevé sur parcours naturels ou agro-pastoraux. Le rationnement, au sens de la formulation d'une ration complète, concerne donc une faible proportion des ruminants. Par contre, la complémentation est plus fréquente : le choix et le niveau d'apport des aliments concentrés doivent reposer sur une connaissance minimale de la ration de base ingérée au pâturage, de l'éventuelle possibilité d'amélioration de celle-ci (conduite du troupeau, charge, aménagement sylvo-pastoral...), de la réponse zootechnique attendue, de l'objectif de production, etc.

1. APPLICATION DES NOUVEAUX SYSTÈMES DE RATIONNEMENT À L'ALIMENTATION DU BÉTAIL TROPICAL

Les modifications suivantes sont progressivement introduites au niveau des unités utilisées pour le rationnement des **ruminants**.

L'**Unité Fourragère (UF)**, qui équivaut à l'énergie nette d'un kg d'orge de référence, de l'ancien système français (Professeur Leroy), est remplacée depuis 1978 par deux unités fourragères : l'« **Unité Fourragère Lait** » **(UFL)** et l'« **Unité Fourragère Viande** » **(UFV)**. La distinction entre ces deux valeurs énergétiques repose sur des différences entre les rendements de transformation de l'énergie métabolisable en énergie nette (figure 1) pour l'entretien, la production de lait et la production intensive de viande.

Figure 1 - Utilisation de l'énergie des aliments par les animaux (INRAP - ITEB -1984)



En fait, le système des UFL n'est pas réservé aux femelles productrices de lait et est étendu :
— aux femelles d'élevage en croissance, gestantes ou taries;
— aux animaux en croissance modérée : gain quotidien moyen (GQM) inférieur à 750 g/j pour les bovins et 100 g/j pour les petits ruminants;
— aux mâles reproducteurs ou aux animaux de trait.

Finalement, les UFV ne sont utilisées que pour les animaux en croissance-engraissement ayant des GQM supérieurs aux valeurs indiquées ci-dessus.

Quel que soit le système d'expression de l'énergie nette, le principal facteur de variation de la valeur énergétique des aliments est la digestibilité de la matière

organique qui varie de moins de 40 p. 100 à plus de 80 p. 100. La digestibilité de nombreux aliments est encore mal connue et les modèles de prévision de la digestibilité établis pour les fourrages tempérés ne sont pas applicables aux fourrages tropicaux. De nombreux efforts sont déployés pour combler cette lacune importante. La transformation de l'énergie digestible en énergie métabolisable et en énergie nette est l'objet de moins grandes variations; même en l'absence de vérifications expérimentales, qui seraient très lourdes, il est possible d'utiliser les relations et les coefficients de zone tempérée sans risquer d'erreurs importantes.

Un autre problème est lié à la connaissance des besoins énergétiques des animaux. Les tables habituellement utilisées font référence à des niveaux de production, à des formats d'animaux et à des races rarement rencontrés en pays chaud. En attendant la réalisation d'un nombre suffisant d'essais d'alimentation, dont l'objectif est de vérifier, voire corriger les normes de pays tempérés, il faut adopter celles-ci et reconstituer des tables adaptées à l'élevage tropical à partir des besoins unitaires exprimés par kg de poids vif, par kg de gain, etc. Ce travail est en cours.

• **Les matières azotées totales (MAT) et apparemment digestibles (MAD)** restent de précieux outils d'évaluation des aliments et de rationnement. Cependant, l'accroissement des connaissances relatives à l'utilisation des matières azotées par les ruminants, plus précisément au site de leur digestion et à la cinétique de celle-ci, permet de distinguer :

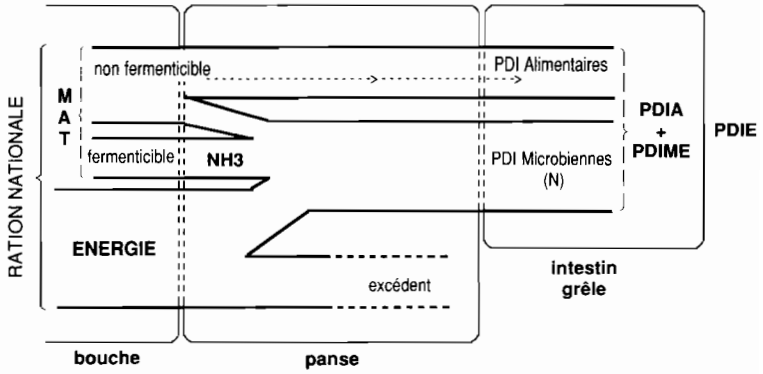
— l'azote fermentescible, dont une partie est immédiatement solubilisée, dégradé dans le rumen et transformé en protéines microbiennes partiellement digérées dans l'intestin : **protéines digestibles dans l'intestin d'origine microbienne (PDIM)**. Deux valeurs PDIM peuvent être estimées : celle qui est fonction de la teneur en azote fermentescible de l'aliment (PDIM(N)), celle qui dépend de sa teneur en énergie fermentescible (PDIM(E)), autre facteur limitant de l'activité microbienne ;

— l'azote non fermentescible mais digéré par les enzymes intestinales : **protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire (PDIA)**.

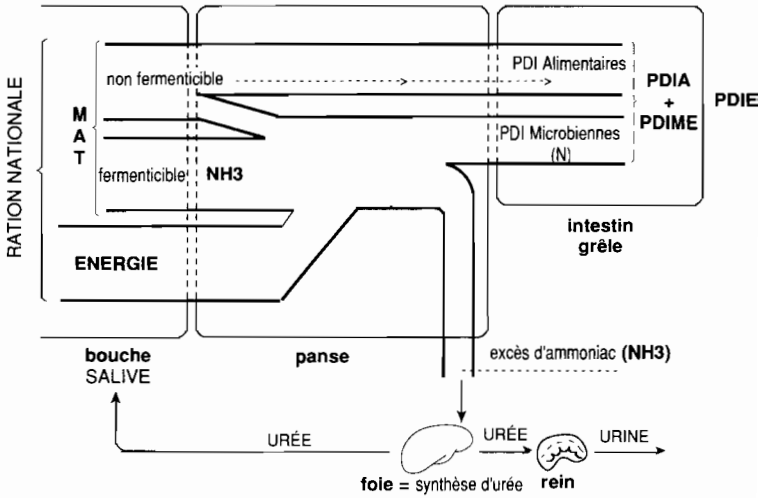
L'application du système PDI en élevage intensif tropical serait utile dès lors que de l'azote non protéique (ANP : urée, etc.) est introduit dans les rations. Cependant, l'estimation de la valeur PDI des aliments nécessite de connaître, en plus de la digestibilité apparente et de la solubilité de l'azote, mesures pratiquées dans certains laboratoires de zone tropicale, sa fermentescibilité et sa digestibilité réelle dans l'intestin. Ces derniers paramètres sont difficiles à mesurer; il serait pourtant très important de les évaluer pour bon nombre de fourrages tropicaux, notamment pour les légumineuses herbacées ou arbustives dont les matières azotées sont souvent peu digestibles.

• **Les quantités d'aliments ingérées** par les ruminants sont souvent exprimées en kg de matière sèche par tête de bétail, par UBT ou par 100 kg de poids vif ou encore en g de matière sèche par kg de poids métabolique (poids vif à la puissance 0,75). Les mesures de quantités ingérées montrent qu'elles sont très variables et fonction, d'une part de **l'ingestibilité** des aliments et des rations et,

Figure 2 - Schéma illustrant les deux valeurs PDI que peuvent prendre les aliments selon leur contribution à la synthèse de protéines microbiennes (d'après INRA-ITEB-EDE - 1980).



(a) la ration totale est déficitaire en azote fermentescible par rapport à l'énergie en excès ; on retient la valeur PDIN.



(b) la ration totale est déficitaire en énergie par rapport à l'azote fermentescible (excès d'ammoniac); on retient la valeur PDIE.

d'autre part, de la **capacité d'ingestion** des animaux. Très schématiquement, on peut dire que l'ingestibilité des aliments varie avec leur digestibilité ou plutôt

avec leur vitesse de digestion mais également en fonction de l'appétibilité propre à chaque espèce et même souvent à chaque organe ou stade de végétation. D'autres facteurs physiques (rapport feuilles/tiges, hachage,...), chimiques (teneur en MAT, en lignine), parfois liés à la conservation (ensilage, foin...) ont un effet important sur l'ingestibilité. De même, la capacité d'ingestion varie suivant l'espèce animale, l'âge, le stade physiologique, le niveau de production et l'état d'engraissement ainsi que d'autres facteurs exogènes comme le climat, la conduite au pâturage, le mode de distribution des aliments, etc.

L'INRA a mis au point un système d'expression des quantités ingérées par les ruminants en relation avec les mécanismes (physiques) de régulation de l'ingestion donnant une seule valeur d'ingestibilité par chaque aliment et une seule valeur de capacité d'ingestion pour chaque type d'animal.

La notion d'encombrement $\left(\frac{1}{\text{ingestibilité}}\right)$ a été retenue et la **valeur d'encombrement** (VE) est exprimée en **unité d'encombrement** (UE) de chaque aliment est obtenue en divisant l'ingestibilité d'un fourrage de référence mesurée sur un mouton ou un bovin standard par l'ingestibilité du fourrage étudié; par exemple en zone tempérée :

— dans le cas des ovins :

on utilise l'Unité d'Encombrement Mouton : UEM

$$\text{Valeur d'encombrement d'un fourrage (en UEM)} = \frac{75}{\text{Quantité de fourrage ingéré par le mouton standard en g de MS/kg de } P^{0/75}}$$

— dans le cas des bovins :

on utilise l'Unité d'Encombrement Bovin : UEB

$$\text{Valeur d'encombrement d'un fourrage (en UEB)} = \frac{122{,}6}{\text{Quantité de fourrage ingéré par le bovin standard en g de MS/kg de } P^{0/75}}$$

L'application de ce système aux pays à climats chauds nécessite :

— la collecte de données, encore insuffisante, sur l'ingestibilité des aliments et la capacité d'ingestion des animaux;

— le choix d'un fourrage de référence car la valeur de 75 g MS/kg $P^{0/75}$ « moutons » ne correspond pas, pour la zone tropicale, à une moyenne mais à de rares fourrages de très bonne qualité;

— et, enfin, à l'établissement de relations suffisamment précises entre les quantités ingérées par les principaux groupes d'animaux : la valeur de 75 g MS/kg pour l'UEM n'équivaut pas forcément à 122,6 pour l'UEB en zone

tropicale et il apparaît difficile de prendre comme bovin standard une vache de 600 kg produisant 17 kg de lait !

Les modifications sont moins profondes pour les **monogastriques**. Elles sont principalement liées à l'abandon de l'énergie nette (UF notamment) rarement mesurée et à son remplacement par l'énergie digestible (ED) dans le cas des porcs et l'énergie métabolisable (EM) dans le cas des volailles qui correspondent aux mesures les plus rapides et les plus précises pour ces groupes d'animaux.

Une meilleure connaissance du comportement alimentaire des monogastriques soumis aux climats difficiles, permet d'ajuster la composition des rations, en particulier leur teneur en acides aminés totaux et essentiels, en fonction des variations des quantités ingérées.

2. ALIMENTATION DES RUMINANTS

2.1. Tables de composition des aliments destinés aux ruminants

Quelques exemples correspondant aux principaux groupes de fourrages sont présentés. Ils peuvent être étendus à d'autres espèces appartenant aux mêmes familles, mais il faut souligner qu'il ne s'agit que de valeurs moyennes, objet de variations importantes liées à la pluviosité, au sol, à la température, au mode d'exploitation, à la technologie des fourrages et à la présence d'autres aliments dans les rations, etc.

Des travaux en cours ont pour objectif d'établir des modèles de prévision qui permettent, pour chaque fourrage, d'estimer sa valeur nutritive en fonction de son âge, de sa composition chimique, etc.

Les abréviations utilisées sont :

SP 6 ou SS7 :	saison des pluies ou saison sèche suivie du mois de l'année
MS :	teneur en matière sèche
MO :	matière organique (MS - cendres)
MAT :	matières azotées totales
CB :	cellulose brute
MG :	matière grasse
ENA :	extractif non azoté; ENA = MO - MAT - CB - MG
Ca :	calcium
P :	phosphore
UF :	unité fourragère (ancien système)
UFL :	unité fourragère lait
UFV :	unité fourragère viande
MAD :	matières azotées apparemment digestibles
PDIN :	protéines vraies digestibles dans l'intestin (PDIN = PDIA + PDIMN cf I)
PDIE :	protéines vraies digestibles dans l'intestin (PDIE = PDIA + PDIM cf I)
S :	solubilité des matières azotées (méthode Mme Durand)

Tableau 1 : COMPOSITION DE QUELQUES ALIMENTS POUR RUMINANTS (RÉSULTATS IEMVT, ISRA...)
A) GRAMINÉES NATURELLES ET CULTIVÉES (exemples)

DÉSIGNATION	ÉPOQUE	DURÉE DE VÉGÉTATION	MS P. 100 FOUR.	COMPOSITION CHIMIQUE g/kg MS					ÉNERGIE/kg MS			VAL. AZOTÉE g/kg MS			S*
				MO	MAT	CB	Ca	P	UF	UFL	UFV	MAD	PDIN	PDIE	
GRAMINÉES ANNUELLES SAHÉLIENNES ET SOUDANIENNES															
Aristida mutabilis															
— stade végétatif	SP 7		23	909	133	311	5,3	1,9	0,67	0,78	0,70	93			≥ 30
— stade floraison	SP 8		32	920	72	356	2,9	1,8	0,37	0,55	0,45	32			
— stade fructification	SP 9		49	926	59	365	3,4	1,4	0,33	0,53	0,42	19			
— pailles	SS 10-12		94	934	32	417	3,4	1,0	0,24	0,46	0,35	<0			
— pailles	SS 3-5		95	942	16	438	2,3	0,3	0,21	0,44	0,33	<0			
GRAMINÉES VIVACES SOUDANIENNES ET GUINÉENNES															
Andropogon gayanus															
— stade végétatif	SP 6-7		28	918	111	311	3,7	1,9	0,56	0,69	0,61	71			≥ 30
— stade floraison	SP 8		27	912	86	318	4,6	1,6	0,45	0,61	0,51	46			
— repousse après coupe	SS 2	15 jours	38	905	107	295	5,0	2,3	0,55	0,68	0,60	67			
— repousse après coupe	SS 2-3	25 jours	39	922	96	304	4,4	2,0	0,50	0,65	0,56	56			
— repousse après feu	SS 1	20 jours	37	915	84	284	5,3	1,5	0,47	0,63	0,53	44			
— repousse après feu	SS 2	60 jours	37	899	63	328	4,3	1,4	0,36	0,54	0,44	23			
— repousse après feu	SS 2-3	100 jours	44	936	57	344	5,5	1,4	0,35	0,54	0,44	17			
GRAMINÉES VIVACES IRRIGUÉES ET FERTILISÉES															
Panicum maximum	SP	4 semaines	17	908	155	324	7,9	3,3	0,59	0,72	0,63	115			≥ 25
		5 semaines	19	892	136	338	6,4	3,1	0,56	0,69	0,60	96			
		6 semaines	20	896	102	362	5,1	2,9	0,55	0,67	0,59	62			
		8 semaines	24	901	84	370	3,3	2,2	0,43	0,59	0,49	44			
		12 semaines	28	902	37	401	3,0	0,9	0,22	0,44	0,34	0			
	SS	3 semaines	16	886	187	298	4,2	3,0	0,60	0,73	0,64	147			
		4 semaines	17	891	145	332	3,6	2,6	0,58	0,71	0,62	105			
		5 semaines	18	900	103	352	3,2	2,4	0,57	0,69	0,61	63			
		6 semaines	18	897	85	361	3,3	2,1	0,43	0,59	0,49	45			
		8 semaines	20	894	72	384	3,4	1,9	0,31	0,51	0,40	32			

* Solubilité des matières azotées (p. 100 N total) : paramètre nécessaire mais insuffisant à l'estimation des teneurs en PDI

FOURRAGES

Tableau 1 (suite) : B) DICOTYLÉDONES HERBACÉES NATURELLES ET CULTIVÉES (exemples)

DÉSIGNATION	ÉPOQUE	DURÉE DE VÉGÉTATION	MS P. 100 FOUR.	COMPOSITION CHIMIQUE g/kg MS					ÉNERGIE /kg MS			VAL. AZOTÉE g/kg MS			S
				MO	MAT	CB	Ca	P	UF	UFL	UFV	MAD	PDIN	PDIE	
LÉGUMINEUSE ANNUELLE SAHÉLIENNE ET SOUDANIENNE															
Zornia glochidiata															
— stade végétatif	SP 7		15	918	200	222	6,9	1,8	0,57	0,72	0,63	146			23
— stade floraison	SP 9		32	934	160	277	9,7	1,4	0,46	0,64	0,53	104			26
— stade fructification	SP 9		33	929	134	297	13,2	2,2	0,38	0,58	0,47	85			
— pailles	SS 11		94	947	82	367	5,4	0,9	0,23	0,47	0,36	40			43
LÉGUMINEUSE VIVACE CULTIVÉE EN ZONE GUINÉENNE															
Stylosanthes guyanensis															
— Repousses fertilisées	SP	6 semaines	21	894	199	244	14,4	4,7	0,57	0,71	0,63	154			
		8 semaines	22	891	179	249	17,3	4,5	0,51	0,67	0,58	134			
		10 semaines	22	899	154	261	15,8	3,2	0,44	0,61	0,51	109			
	SS	6 semaines	23	903	178	247	15,6	4,2	0,51	0,67	0,57	133			
		8 semaines	24	910	152	264	16,9	3,3	0,45	0,62	0,52	112			
		10 semaines	33	887	144	295	16,3	2,8	0,41	0,59	0,49	104			
RUBIACÉE ANNUELLE SAHÉLIENNE ET SOUDANIENNE															
Spermacoce stachydea															
— plante entière : floraison	SP 9		21	923	91	270	14,7	1,0	0,59	0,72	0,63	39			23
: fructification	SP 10		37	894	79	276	10,7	0,9	0,48	0,62	0,53	26			
— glomérules : verts	SP 10		16	877	138	237	15,4	2,6				76			16
: secs	SS 12		87	895	93	268	15,7	1,5	0,59	0,71	0,63	38			

Tableau 1 (suite) : C) FOURRAGES LIGNEUX (exemples)

DÉSIGNATION	ÉPOQUE	MS P. 100 FOUR.	COMPOSITION CHIMIQUE g/kg PS					ÉNERGIE /kg MS			VAL. AZOTÉE g/kg PS			S
			MO	MAT	CB	Ca	P	UF	UFL	UFV	MAD	PDIN	PDIE	
FEUILLES VERTES														
Acacia linarioides	SS	≥ 30	941	125	312	7,2	1,1				8			15
Leucaena leucocephala	SS		903	181	231	2,1	1,8	0,07	0,37	0,25	128			20
Piliostigma reticulatum	SS	≥ 30	909	91	297	18,4	1,2	0,65	0,77	0,69	9			6

Remarque : Ces trois exemples sont destinés à montrer que la valeur nutritive des ligneux est très variable. Comparativement aux fourrages herbacés, les feuilles ou les fruits des ligneux ont des teneurs en MAT élevées comprises entre 60 et 230 g/kg MS. La digestibilité de cet azote, souvent bloqué par des tanins ou de fortes concentrations de lignine (jusqu'à 25 p. 100 de MS), est irrégulière puisqu'elle varie de 14 à 82 p. 100. En conséquence, la valeur nutritive des fourrages ligneux ne peut être déduite d'analyses chimiques simples comme celles figurant dans ce tableau. Il est nécessaire d'effectuer un examen approfondi des fractions pariétales et azotées et de procéder à des tests *in vivo* ou enzymatiques.

D) SOUS-PRODUITS DE CULTURES : PAILLES DE CÉRÉALES - FANES DE LÉGUMINEUSES (exemples)

DÉSIGNATION	MS P. 100 FOUR.	COMPOSITION CHIMIQUE g/kg MS					ÉNERGIE /kg MS			VAL. AZOTÉE			S
		MO	MAT	CB	Ca	P	UF	UFL	UFV	MAD	PDIN	PDIE	
Paille de riz	90	823	32	380	1,9	0,8	0,36	0,51	0,42	0			
Paille de maïs	90	920	40	400	4,5	1,0	0,22	0,45	0,34	0			
Fanes d'arachide récoltées après battage	90	902	111	346	14,1	2,1	0,47	0,62	0,53	69			35

Remarque : Ces quelques exemples font apparaître les principales différences entre pailles de céréales et fanes de légumineuses d'une part et entre les pailles fines comme le riz, l'orge, etc, et les pailles grossières comme le mil, le maïs, et le sorgho.

La qualité de l'aliment effectivement ingéré par l'animal est fonction du taux de refus et du rapport feuilles/tiges dans le régime : en effet, les feuilles d'arachide ont une teneur en MAT de 150 g/kg MS alors que celle des tiges n'est que de 70 g/kg MS; de même la digestibilité des tiges de sorgho est de 40 p. 100 alors que celle des feuilles est de l'ordre de 60 p. 100.

La valeur nutritive des pailles de céréales peut être améliorée par un traitement à l'ammoniac (4 p. 100 de la MS) ou par une solution d'urée (1 litre de solution à 5 p. 100 par kg de paille) : la valeur énergétique peut ainsi s'accroître de 0,1 à 0,15 UF, la teneur en MAT atteint 140 g/kg MS mais la digestibilité de cet azote n'est que de 50-55 p. 100. Une complémentation adéquate comprenant une source d'énergie fermentescible et de l'azote protéique est nécessaire à une bonne utilisation des pailles traitées. L'ingestibilité est également améliorée de 5 à 15 p. 100 par le traitement (Dolberg et collab., 1981).

Tableau 1 (suite) : E) ALIMENTS CONCENTRÉS ET SOUS-PRODUITS DIVERS

DÉSIGNATION	MS P. 100 ALIMENT	COMPOSITION CHIMIQUE g/kg MS							ÉNERGIE /kg MS			VAL. AZOTÉE g/kg MS		
		MO	MAT	CB	MG	ENA	Ca	P	UF	UFL	UFV	MAD	PDIN	PDIE
Issues de riz														
— balle	≃ 90	797	26	382	4	385	0,9	0,5				0		
— son vrai	"	825	100	165	73	487	1,5	7,8	0,59	0,70	0,64	57		
— farine basse	"	901	137	78	173	513	1,6	17,4	0,76	0,87	0,81	94		
— brisure	"	988	92	10	17	869	0,3	2,2	1,20	1,25	1,26	65		
Racines et tubercules														
— cossette de manioc	89	972	20	30	7	915	1,4	1,2	1,03	1,09	1,07	0		
Sous-produits du coton														
— graine entière délintée	918	956	220	231	234	271	1,6	6,9	0,60	0,76	0,66	187		
— tourteau décortiqué et déshuilé	887	917	487	106	8	310	2,6	12,8	0,76	0,91	0,83	414		
— coque délintée	890	970	52	570	10	499	1,1	1,1	0,34	0,53	0,42	20		
Mélasse de canne à sucre	833	921	33	—	—	888	14,9	0,3	1,14	1,18	1,19			
Urée	980		2875									2000		1610
Sources de phosphore et de calcium														
carbonate de calcium							380							
coquille d'huître							380	0,5						
farine d'os							235	112						
phosphate bicalcique							250	180						

2.2. Conservation des fourrages

Les techniques de conservation des fourrages sont rarement pratiquées traditionnellement en zone tropicale. La pression foncière accrue, l'intégration de l'agriculture et de l'élevage ainsi que la nécessaire intensification des productions animales favorisent, tout au moins en zones agro-pastorales à saison sèche marquée, le développement de ces techniques. Force est de constater cependant que ni les foins, ni les ensilages réalisés jusqu'ici en milieu rural, ne donnent entière satisfaction. Il est nécessaire de poursuivre l'adaptation de ces techniques aux régions tropicales et surtout aux systèmes de production qu'on y rencontre. Les lignes qui suivent font le point de quelques recommandations ou éléments d'appréciation issus de recherches en zone tempérée ou d'expériences plus ou moins heureuses en zone tropicale.

a) **Foins**

La fenaison consiste à amener le fourrage à une teneur en matière sèche d'au moins 85 p. 100.

Cette technique entraîne une diminution de la valeur alimentaire par rapport au fourrage vert de départ liée à la respiration enzymatique pendant le séchage et à des pertes mécaniques (de feuilles) qui affectent particulièrement les légumineuses. C'est ainsi que la valeur énergétique et la valeur azotée diminuent de 10 à 20 p. 100 et l'ingestibilité de 10 à 30 p. 100.

Ces pertes augmentent avec la durée du séchage et sont accentuées par la pluie (lessivage) ou par un échauffement faisant suite à un séchage insuffisant. Dans ce dernier cas, la conservation pourra être améliorée par l'adjonction de sel et un stockage permettant la circulation de l'air (perroquet, absence de tassage, etc.).

L'obtention d'un foin de bonne qualité nécessite une fauche avant la floraison c'est-à-dire, en zone tropicale, avant la fin de la saison des pluies. Le risque d'intempérie après la fauche est moins aigu en zone sahélienne qu'en zone soudanienne et guinéenne mais les temps de travaux (par tonne de fourrage), liés aux rendements à l'hectare, sont importants. En région agricole, cette période est aussi celle de la récolte des produits vivriers et il y a peu de main-d'œuvre disponible pour la fenaison.

Finalement, en dehors des exploitations spécialisées produisant par exemple du foin de graminées irriguées en saison sèche, il est rare que les foins aient, en zone tropicale, une qualité suffisante pour couvrir les besoins de production ou même d'entretien. Les foins de légumineuses, bien que plus difficiles à récolter (faibles rendements, chute des feuilles), ont une qualité un peu supérieure à celle des graminées; leur valeur azotée en particulier est plus élevée. Compte tenu de ces difficultés, il semble préférable de s'orienter vers des techniques de traitement des fourrages pauvres (tableau 1.D.), foins de mauvaise qualité ou pailles de brousse récoltées en début de saison sèche dans ce cas, ou encore vers l'ensilage (cf. ci-dessous).

b) **Ensilages**

L'ensilage est une technique de conservation des fourrages particulièrement adaptée aux exploitations mécanisées comportant de gros effectifs de rumi-

nants. Les critères de réussite (rapidité de remplissage des fosses, finesse du hachage, tassement) sont peu compatibles avec les contraintes des exploitations paysannes africaines et malgaches qui reposent sur les techniques manuelles.

La conservation par ensilage nécessite d'une part l'anaérobiose et d'autre part l'acidité. Cette acidité est liée à la présence de glucides solubles, malheureusement peu abondants dans les fourrages tropicaux (5 p. 100 de MS en moyenne contre 10 p. 100 pour les fourrages tempérés).

La réussite des ensilages des fourrages tropicaux nécessite donc l'addition de mélasse ou de conservateurs comme l'acide formique surtout quand la teneur en matière sèche du fourrage vert est inférieure à 35 p. 100.

Ce taux de MS peut être obtenu par préfanage.

La mélasse peut être ajoutée à raison de 4 kg de mélasse par 100 kg de fourrage vert. L'acide formique est utilisé à raison de 3,5 à 5 litres d'acide commercial (83 à 85 p. 100 de produit pur) par tonne de fourrage vert. La mélasse et l'acide formique peuvent être dilués pour faciliter leur épandage manuel. On veillera cependant à maintenir un taux de matière sèche optimal pour l'ensilage.

Toutefois, l'application de ces techniques n'est efficace que si les conditions d'anaérobiose et de drainage pour l'écoulement des jus sont bien remplies. Le plus grand soin doit être apporté à la préparation et au remplissage des silos :

— *Silo-fosse*

Choisir un terrain se drainant bien, si possible à flanc de coteau. Creuser une fosse de section rectangulaire — profondeur 1,80 m à 2,50 m — largeur 3 à 4 mètres — longueur variable suivant les besoins — pente du fond 35 p. 100 vers une extrémité.

Il y a avantage à avoir plusieurs fosses de longueur moyenne (5 m), plutôt qu'une très grande.

Les parois sont verticales et entretenues bien lisses - fond et côtés peuvent être cimentés, mais en terrain compact bien drainé on peut s'en dispenser. Si le terrain est très compact, creuser un puisard en bout de fosse pour l'évacuation des jus.

Si les côtés sont cimentés, prévoir des épaulements permettant de poser des cloisons mobiles faites avec des madriers (éviter l'emploi d'*Erythrophleum guineense* toxique).

La durée du remplissage ne doit pas excéder 3 jours. L'herbe non souillée de terre et si possible hachée, est disposée en couches de 15 à 20 cm d'épaisseur et arrosée avec la solution de conservateur. Tasser fortement, surtout dans les coins, soit par piétinement, soit au tracteur, soit avec des fûts de 200 litres remplis d'eau.

Doubler les proportions de conservateurs pour la dernière couche.

Recouvrir l'herbe avec une couche de paille de 10 à 20 cm d'épaisseur — laisser reposer 12 heures - recouvrir d'une couche de terre de 40 à 50 cm. Si des crevasses se produisent par suite du tassement, les combler avec de la terre humide. Lorsque c'est possible, il est préférable de remplacer la paille avec une bâche de matière plastique (7/100 à 10/100) qui doit être plaquée à la surface de l'herbe par un peu de terre ou des matériaux divers.

— *Silo-meule*

Tracer le contour de la meule au diamètre voulu : 4 à 8 m, creuser sur 80 cm - 1 m; la terre retirée servira à recouvrir la meule.

La technique de remplissage est la même que pour le silo-fosse. Si on ensile les herbes non hachées, les disposer suivant les rayons de la fosse. L'emploi d'une bâche en matière plastique est recommandé.

— *Silo-couloir*

Ce sont les silos les plus courants actuellement. Les silos-couloirs reposent sur une plate-forme bétonnée. L'écartement des murs est variable : 3 à 10 m.

En région tropicale, le front d'attaque doit avancer suffisamment vite pour éviter les pertes au dessilage. La vitesse d'avancement déterminera la largeur du silo.

Lorsque la récolte est manuelle à la machette et le transport fait par charrette, 1 tonne à 1,5 tonne de fourrage peut être ensilée par journée de travail.

Sur le terrain, la qualité d'un ensilage peut être jugée à son aspect, son odeur et son appétibilité. Au laboratoire, d'après ses caractéristiques fermentaires (tableau 2).

Tableau 2 : CARACTÉRISTIQUES FERMENTAIRES DES ENSILAGES DE ZONE TEMPÉRÉE (d'après DEMARQUILLY in INRA 1978)

	Ensemble des fourrages (1)	Ensilage excellent
pH	3,8 - 5	< 4
N-NH3 p. 100 N total (N ammoniacal)	5,2 - 13,8	< 5 - 7
N soluble p. 100 N total	38 - 65	< 50 - 55
acide acétique g/kg MS	16 - 38	< 20 - 25
acide propionique g/kg MS	0 - 4	0 ou trace
acide butyrique g/kg MS	trace -15	0 ou trace

(1) Les valeurs indiquées correspondent aux moyennes extrêmes des principaux types de fourrages ensilés. Les moins bons ensilages sont ceux de légumineuses sans conservateurs.

Par rapport au fourrage vert de départ, l'ensilage provoque des pertes, plus ou moins importantes suivant la qualité de la préparation, de matière sèche (5 à 30 p. 100 : moisissures, jus, gaz) et d'ingestibilité (20 à 35 p. 100). La diminution de la valeur azotée (5 à 10 p. 100 pour les bons ensilages) est d'autant plus importante que l'ensilage est riche en ammoniac, en azote soluble et en produits de fermentation. La valeur énergétique diminue peu.

L'ensilage est surtout utilisé en saison sèche à l'auge ou en libre service. Il peut constituer l'essentiel de la ration en apportant une complémentation adaptée ou au contraire être distribué à des animaux ingérant l'essentiel de leur ration au pâturage. Par exemple des vaches N'Dama en début de lactation, auxquelles il est distribué le soir, peuvent en consommer 3 à 4 kg par jour, soit 700 g à 1 kg de matière sèche.

2.3. Apports alimentaires recommandés pour les ruminants

Les apports alimentaires recommandés sont présentés dans trois tableaux relatifs aux bovins, aux ovins et aux caprins. Un tableau complémentaire indique les besoins énergétiques des bovins pour le travail, un autre les teneurs recommandées des rations en minéraux permettant de couvrir les besoins de production les plus courants en zone tropicale, les derniers indiquent les apports vitaminiques recommandés et les teneurs en vitamines de quelques aliments (tableaux 3 à 10).

Ces recommandations sont issues des anciens (UF, MAD) et nouveaux systèmes français (UFL, MAD, PDI). Parallèlement aux changements d'unité, des progrès ont été faits dans l'appréciation des besoins des animaux et au niveau des recommandations qui tiennent compte de la constitution et de la mobilisation des réserves corporelles (INRA, 1978 — INRA, 1988). Les recommandations indiquées pour l'ancien système sont celles proposées par leurs auteurs (Leroy et al. 1964) et reprises dans différents manuels (Rivière, 1978). Il ne faut donc pas chercher à établir des correspondances rigoureuses entre les recommandations calculées en UF et en UFL.

En général, les besoins d'entretien sont calculés en fonction du poids métabolique, poids vif élevé à la puissance 0,75. Cette expression traduit le fait que les dépenses d'entretien et la capacité d'ingestion varient avec la surface corporelle plutôt qu'avec le poids vif.

Les besoins de production sont calculés en fonction du stade de production (gestation, lactation, âge...) et par kg de production (fœtus, lait, croît).

2.4. Consommation d'aliments et d'eau

a) Quantités d'aliments consommés

Les données existantes ne permettent pas encore d'appliquer le système des unités d'encombrement. **Le tableau 10** indique toutefois les quantités ingérées des principaux groupes de fourrages dont la composition et la valeur sont exposées au 2.1. Ces consommations correspondent à des taux de refus compris entre 20 et 30 p. 100. Elles varient pour une même ration en fonction :

— du stade physiologique, de l'état d'engraissement, etc. de l'animal ;
— du climat : dans les régions où les variations saisonnières de la température et de l'hygrométrie sont marquées, les quantités ingérées pendant la période la plus fraîche sont de 15 p. 100 supérieures à celles mesurées en période chaude et humide ;
— de la possibilité de tri par les animaux : les quantités de fourrage ingérées par les moutons, par exemple, augmentent de 10 à 30 p. 100 lorsque le taux de refus passe de 20 à 50 p. 100. L'augmentation est d'autant plus forte que le fourrage est hétérogène ;
— de la complémentation azotée ou du traitement des fourrages pauvres (MAT < 6 p. 100 de la matière sèche) : l'accroissement des quantités ingérées peut être compris entre 5 et 20 p. 100 ;
— inversement, les quantités ingérées de fourrages diminuent lorsqu'ils sont associés à de fortes proportions d'aliments concentrés. Le taux de substitution (1) augmente avec le pourcentage de concentré, la valeur nutritive du

(1) Taux de substitution : rapport de la quantité de matière sèche de fourrage consommée en moins (comparativement au fourrage distribué seul) à la quantité de matière sèche d'aliment concentré ingérée.

Tableau 3 : APPORTS ALIMENTAIRES RECOMMANDÉS POUR LES BOVINS

TRAVAIL	ÉNERGIE	Matières azotées
	1. Soit besoin global (2) en UF — travail léger = 1,5 E — travail moyen = 2,0 E — travail fort = 2,5 E 2. Soit besoin global en UFL, en fonction du poids vif et du type de travail (tableau ci-dessous)	Besoin global (2) = 1,3 E

Tableau 4 : APPORTS ÉNERGÉTIQUES RECOMMANDÉS (UFL/jour) POUR DES BOVINS ATTELÉS PAR PAIRE ET EFFECTUANT UN TRAVAIL RÉGULIER (VERMOREL in INRA 1988) (1)

Poids (kg)	Intensité du travail	Effort de traction (kg)	Vitesse (km/h)	Durée du travail		
				4 h	6 h	8 h
250	très élevée	35	2,0	4,3	5,2	
	élevée	30	2,0	4,2	4,8	
	moyenne	25	2,5	4,0	4,6	5,2
	légère		3,5	3,5	4,0	4,5
350	très élevée	50	2,0	5,4	6,5	
	élevée	42	2,5	5,3	6,1	
	moyenne	35	2,5	5,1	5,8	6,5
	légère		3,5	4,5	5,1	5,7
450	très élevée	63	2,5	6,7	8,1	
	élevée	54	2,5	6,5	7,6	
	moyenne	45	3,0	6,3	7,1	8,1
	légère		4,0	5,3	6,0	6,8

(1) Tiré des données de GOE (1983). La digestibilité de la matière organique des rations ingérées a été estimée égale à 53 p. 100, ce qui conduit à une valeur énergétique de 0,57 UFL/kg de matière sèche.

Tableau 5 : APPORTS ALIMENTAIRES RECOMMANDÉS

	ÉNERGIE
ENTRETIEN (E)	E = S + D
— stabulation (S)	0,037 UF/kg $P^{0,75}$ ou 0,043 UFL/kg $P^{0,75}$ (adulte)
— pâturage (D)	Besoins supplémentaires liés au déplacement (D) 0,026 UF ou UFL/km/100 kg PV
GESTATION	Besoin global (2)
7e mois 8e mois 9e mois	1,25 S + D 1,35 S + D 1,55 S + D
LACTATION	(1) 0,38 UF ou 0,44 UFL/kg de lait à 4 p. 100 de matière grasse (MG). Si MG ≠ 4 p. 100, la quantité équivalente de lait à 4 p. 100 (L') peut être calculée par la formule : L' = L (0,4 + 1,55 MG) où L est la production laitière mesurée et MG est exprimé en p. 100.
CROISSANCE ENGRAISSEMENT	1. Soit (1) : 1,4 UF/kg de gain pendant le sevrage 2,7 de 1 an à 1 an 1/2 3,0 de 1 an 1/2 à 2 ans 3,2 de 2 ans à 3 ans 3,3 à 3,5 après 3 ans 2. Soit besoin global (2) : 0,0493 $P^{0,75}$ + 0,0175 $P^{0,75}$ $G^{1,4}$ + D en UFL pour G < 0,75 kg/jour - P et G en kg

(1) non compris le besoin d'entretien (E)

POUR LES BOVINS

Matières azotées	Calcium	Phosphore	Chlorure de sodium
3,0 g MAD/kg $P^{0,75}$ ou 3,25 g PDI/kg $P^{0,75}$ —	5 g/100 kg PV —	3 g/100 kg PV —	5 g/100 kg PV —
(1) par 10 kg de foetus à la naissance 23 g MAD ou 19 g PDI 39 g MAD ou 33 g PDI 61 g MAD ou 51 g PDI	 (1) + 10 g/j + 20 g/j + 10 g/j	 (1) + 5 g/j + 10 g/j + 10 g/j	
(1) 60 g MAD/kg de lait ou 48 g PDI/kg de lait	(1) 3,5 g/kg de lait	(1) 1,7 g/kg de lait	(1) 2 g/kg de lait
(1) 35 g MAD/100 g de gain de PV ou 32 g PDI/100 g de gain de PV	(1) 15 g/kg de gain	(1) 9 g/kg de gain	(1) 2 g/kg de gain

(2) Y compris le besoin d'entretien (E)
Ce besoin global correspond à celui de mâles en croissance ayant un CMQ 750 g/j.
Pour des productions plus intensives se reporter aux tables de l'INRA 1988).

Tableau 6 : APPORTS ALIMENTAIRES RECOMMANDÉS

	ÉNERGIE
ENTRETIEN (E) — stabulation (S)	E = S + D 0,037 USF/kg $P^{0,75}$ ou 0,033 UFL/kg $P^{0,75}$
— pâturage (D)	Besoins supplémentaires liés au déplacement 0,032 UF ou UFL/km/100 kg PV
GESTATION	1. soit besoin global (2) : 3e mois : 1,05S+D 4e mois : 1,20S+D 5e mois : 1,50S+D 2. soit (1) : 0,0017, 0,0044, 0,0070 UFL/kg de foetus à terme respectivement pour les trois dernières quinzaines de gestation
LACTATION	(1) 0,65 UF/kg de lait ou 0,64 UFL/kg de lait La production laitière des brebis peut être estimée en fonction du gain de poids de leur portée. croissance de la portée (g/j) : 150 200 250 300 production laitière (kg/j) : 1,0 1,2 1,4 1,6
CROISSANCE-ENGRAISSEMENT	1. soit (1) : 1er mois : 0,16 UF/100 g de gain 2e mois : 0,21 UF/100 g de gain 3e mois : 0,27 UF/100 g de gain + de 3 mois : 0,3 UF/100 g de gain 2. soit (1) pour GMQ < 100 g/j jusqu'à 5 mois : 0,26 UFL/100 g de gain après 5 mois : 0,29 UFL/100 g de gain 3. soit pour GMQ > 100 g/j un besoin de production en UFV/kg de grain — pour les mâles : $\left(\frac{2834 + 197P - 17,89\,G + 0,014\,G^2}{1855}\right)$ UFV + D — pour les femelles : $\left(\frac{2743 + 165P - 4,04\,G - 0,011G^2}{1855}\right)$ UFV + D avec P en kg et G = GMQ en g/j

(1) non compris le besoin d'entretien (E)

POUR LES OVINS

Matières azotées	Calcium	Phosphore	Chlorure de sodium
mouton sans laine : 2,14 g MAD/kg $P^{0,75}$ ou 2,26 g PDI/kg $P^{0,75}$ mouton à laine : 2,52 g MAD/kg $P^{0,75}$ ou 2,64 g PDI/kg $P^{0,75}$	7 g/100 kg PV	5 g/100 kg PV	5 g/100 kg PV
1. soit besoin global (2) 3e mois 100 g MAD/100 kg PV 4e mois 130 " 5e mois 150 " 2. soit (1) 4, 7, 10,5 g MAD ou 3,5, 6, 8.8g PDI/kg de fœtus à terme respectivement pour les 3 dernières quinzaines de gestation	besoin global (2) 16,7 g/100 kg PV	besoin global (2) 7,5 g/100 kg PV	
(1) - 1er mois : 89 g MAD ou 75 g PDI/kg de lait 2e au 4e mois : 104 g MAD ou 88 g PDI/kg de lait 8e mois (brebis traites) : 122 g MAD ou 102 g PDI/kg de lait 350 400 450 500 1,8 2,0 2,3 2,5			
(1) 30 g MAD/100 g de gain de PV ou 27 g PDI/100 g de gain de PV	(1) 3 g/100 g de gain	(1) 1 g/100 g de gain	(1) 0,2 g/100 g de gain

(2) y compris le besoin d'entretien (E)

Tableau 7 : APPORTS ALIMENTAIRES RECOMMANDÉS POUR LES CAPRINS

CAPRINS	ÉNERGIE	Matières azotées	Calcium	Phosphore	Chlorure de sodium
ENTRETIEN (E) — stabulation (E) — pâturage et parcours (D)	E = S + D 0,036 UF/kg $P^{0,75}$ besoin supplémentaire lié au déplacement 0,032 UF en UFL/km/100 kg PV	1,67 à 2,23g MAD/kg PV ou 2,32g PDI/kg $P^{0,75}$ –	7g/100 kg PV –	5g/100 kg PV –	5g/100 kg PV –
GESTATION	pendant 5 dernières semaines : besoin global (2) : 1,25 S + D	besoin global (2) 4e mois ; 1,55 à 1,65 E 5e mois ; 2,1 à 3,1 E	besoin global (2) 1,80 E 2,50 E	besoin global (2) 1,25 E 1,50 E	
LACTATION	(1) 0,32 ; 0,36 ; 0,40 UF ou 0,29, 0,385, 0,48 UFL par kg de lait respectivement à 3 ; 33,5 ou 4 p. 100 de matière grasse	(1) 55 g MAD ou 45g PDI par kg de lait	(1) 4g/kg de lait	(1) 1,5g/kg de lait	(1) 2g/kg de lait
CROISSANCE	(1) par 100 g de gain à 15 kg de poids vif à 30 kg de poids vif 0,22 UF 0,27 UF ou 0,19 UFL ou 0,23 UFL	(1) par 100 g de gain 34g MAD ou 30g PDI	(1) 3g/100g de gain	(1) 1g/100g de gain	(1) 0,2g/100g de gain

(1) non compris le besoin d'entretien (E)
(2) y compris le besoin d'entretien (E)

Tableau 8 : LIMITES DE CARENCE, SEUILS DE TOXICITÉ ET TENEURS RECOMMANDÉES EN MINÉRAUX DES RATIONS POUR RUMINANTS. EXEMPLES DE BOVINS ET D'OVINS A L'ENTRETIEN, EN CROISSANCE, EN GESTATION ET EN LACTATION

	g/kg MS						mg/kg MS					
Eléments	Ca	P	Mg	K	Na	Cu	Zn	Mn	Fe	Co	Se	Mo
Limites de carence	2(3,6)*	2 (2)*	0,7	3,2	0,6	7	45	45		0,07	0,1	
Seuils de toxicité						Bov : 100 Ov : 15	500	1000		100	0,5	3
Recommandations (exemples)												
Bovins en croissance de 200 kg PV (1)						10	50	50	30	0,1	0,1	
entretien	1,8	1,2										
100 g/j de GMQ	2,4	1,7										
250 g/j de GMQ (2)	3,1	2,1	0,9	5,0	1,2							
500 g/j de GMQ	4,5	2,7	0,9	5,0	1,2							
Vaches reproductrices de 300 kg PV						10	50	50	30	0,1	0,1	
taries - gestantes	3,4	2,5	1,0	4,2	1,0							
7 kg de lait/j	6,2	3,5	1,6	6,7	1,5							
Ovins						5 à 10	50	50	30	0,1 à 1	0,1	
croissance (100 g/j)	5,5	1,9	0,8	2,2	0,7							
gestation	4,5	2,0	0,8	2,2	0,8							
lactation	6,0	3,0	1,0	2,2	0,8							
adapté d'après	INRA (1978)					RIVIÈRE (1978)	UNDERWOOD (1981)					

(1) Poids vif
(2) Gain moyen quotidien
* Apport correspondant à une production minimale nécessaire à la survie du troupeau : croissance ≥ 200 g/j ou 4 l de lait/jour dans le cas des bovins.

Remarque : Les teneurs en phosphore des fourrages tropicaux sont le plus souvent inférieures à ces recommandations.

Les teneurs en calcium des graminées ne satisfont pas les besoins pour les niveaux de production les plus élevés (8 kg de lait ou 500 g de croît par jour), mais les dicotylédones herbacées ou ligneuses enrichissent les rations en cet élément. D'autres éléments comme le cuivre en Afrique de l'Est, le zinc en Afrique sahélienne et soudanienne, le cobalt en Afrique équatoriale, le soufre en Australie (teneur recommandée 2 g/kg Ms) etc., sont responsables de carences.

La complémentation minérale des troupeaux sur parcours est recommandée, y compris en saison des pluies, période durant laquelle les fourrages plus riches sur le plan énergétique et azoté, permettent des niveaux de production plus élevés et par voie de conséquence, accroissent les besoins en minéraux. Les risques de carence sont d'autant plus importants que la flore des pâturages ou les rations sont peu variées. L'espèce bovine, la moins sélective pour constituer son régime, est la plus exposée.

Tableau 9 : APPORTS VITAMINIQUES RECOMMANDÉS (en UI/kg MS de la ration) (d'après le National Research Council des U.S.A.) (WOLTER in INRA 1988)

	Vitamine A	Vitamine B	Vitamine E
Vaches taries 600 kg	4000	1200	15
Vaches laitières en début de lactation (0-3 semaines)	4000	1000	15
Vaches laitières en pleine lactation	3200	1000	15
Vaches allaitantes	3900		
Taureaux	3200	300	15
Génisses et taurillons en croissance	2200	300	25
Veaux : aliment d'allaitement	3750	600	40
Veaux : aliment concentré	2200	300	25
Brebis à l'entretien et en début de gestation	2700		15
Brebis au dernier mois de gestation	3300		15
Brebis en lactation	2400		15
Agneau 20 kg	950		15
Agnelle 40 kg	1350		15
Bélier 80 kg	2000		15
Teneurs maximales tolérables	66000	2200	2000

REMARQUE : Les apports vitaminiques doivent principalement être évalués pour les animaux recevant de grandes quantités de sous-produits agro-industriels (pauvres en vitamines A et D), situation fréquente en zone tropicale. Un simple apport de fourrage en complément de la ration de base suffit à corriger certains signes de carence (cécité par exemple).

Il faut veiller également à couvrir les besoins vitaminiques des veaux et des agneaux allaités artificiellement.

Tableau 10 : TENEURS MOYENNES EN VITAMINES DE QUELQUES GROUPES D'ALIMENTS (en UI/kg MS) (adapté d'après WOLTER in INRA 1988)

	Vitamine A	Vitamine D	Vitamine E
Graminées vertes	25000	30	17
Foins et pailles (en fonction de l'espèce, du stade de récolte et du stockage)	1000 à 50000	600 à 2000	– à 200
Ensilage	6000 à 23000	– à 300	–
Céréales	– à 1000	– – à	– 12 à 25
Issues de céréales	à 1000	–	21 à 26
Tourteaux	–	–	7 à 35

(suite du texte avant tableau 3)

fourrage et la teneur en énergie fermentescible (amidon, sucres, etc.) de l'aliment concentré. Il peut atteindre 1,3 pour des fourrages d'excellente qualité et des rations composées de 50 p. 100 d'aliments concentrés.

Compte tenu de ces variations, l'efficacité du rationnement repose sur une connaissance minimale des quantités effectivement ingérées, en particulier pour les fourrages.

Tableau 11 : QUANTITÉS INGÉRÉES (Matière sèche en kg/100 kg de poids vif) DE QUELQUES TYPES DE FOURRAGES OU DE RATIONS

	BOVINS*	OVINS	CAPRINS
Graminées et dicotylédones herbacées naturelles			
a) à l'auge			
vertes	2,4 - 2,1	3 - 2,5	3,6 - 3,3
pailles en début de saison sèche	2,1 - 1,9	2,5 - 2,1	3,2 - 2,9
pailles en fin de saison sèche	1,9 - 1,8	2,1 - 1,9	2,9 - 2,7
b) au pâturage			
vertes	2,2 - 2,0	3,2 - 2,8	3,8 - 3,4
pailles de début de saison sèche	2,5	3,5 - 3,0	4,2 - 3,6
pailles de fin de saison sèche	2,2 - 1,6	3,0 - 1,8	3,6 - 2,2
Graminées irriguées et fertilisées (diminution avec l'âge des repousses) de 4 à 10 semaines			
Panicum maximum (exemple)	2,3 - 1,8	3,2 - 2,1	3,8 - 2,9
Légumineuse cultivée :			
Stylosanthes guyanensis (exemple)	1,9 - 1,8	3,0 - 2,5	3,6 - 3,0
Fanes d'arachide	2,5	3,2	3,8
Pailles de riz	2,2 - 2	2,6 - 2,3	3,3 - 3,1
Pailles de maïs	1,8 - 1,6	1,9 - 1,5	2,8 - 2,5
Coques de graines de coton	1,7	1,7	
Ration à base de coques d'oléagineux (20 à 30 p.100), de mélasse (20 à 30 p.100) et d'aliments concentrés	3,3	4,2 - 4,7	

Remarque : lorsque les résultats expérimentaux n'étaient pas disponibles pour les bovins et surtout les caprins, les quantités ingérées par ces espèces ont été estimées en fonction des consommations mesurées sur des moutons à l'aide de relations mises au point en zone tempérée.

* Bovins en croissance-engraissement, vaches allaitantes, animaux de trait. Pour les vaches laitières en production, la consommation s'accroît d'environ 280 g de matière sèche par kg de lait produit.

b) Abreuvement

La quantité d'eau bue varie principalement en fonction de la température, de l'hygrométrie de l'air et de la teneur en eau des rations.

Les tableaux 12 et 13 concernent des bovins entretenus sur pâturage en zone soudanaise et des moutons sur parcours sahéliens abreuvés une fois par jour et ayant la possibilité de pâturer pendant la nuit.

Les très fortes températures (45 -50°C) associées à une faible hygrométrie provoquent des consommations d'eau plus importantes pouvant atteindre 50 litres pour les bovins et 4 à 5 litres pour les petits ruminants.

Lorsque l'abreuvement n'est pas quotidien, ce qui est fréquent en zone pastorale, les animaux boivent plus à chaque prise. Cependant les quantités totales d'eau bue sont inférieures de 5 à 10 p. 100 et de 25 à 35 p. 100 respectivement lorsque les abreuvements sont espacés de 2 et 3 jours.

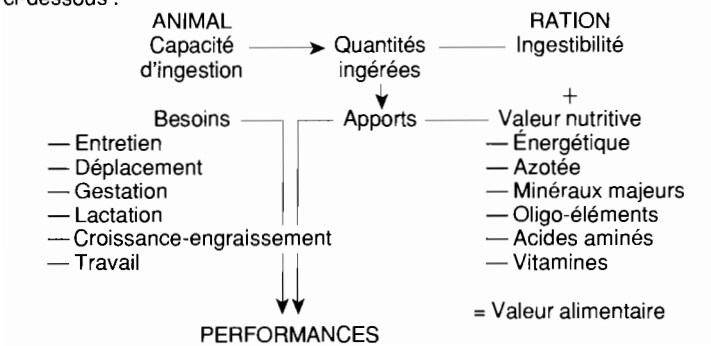
La production laitière entraîne un accroissement du besoin en eau de 3 litres par litre de lait.

Tableau 12 : ABREUVEMENT DES OVINS (MOUTONS DE 30 KG DE POIDS VIF EN ZONES SAHÉLIENNE ET SOUDANIENNE)

	Température moyenne	Teneur en eau des fourrages p. 100	Eau consom. par 24 h en litres
Saison des pluies (juillet à octobre)	30	85 - 30	0 - 0,6
Début saison sèche (novembre à février)	25	10	1,3 - 1,9
Fin saison sèche (mars à juin)	33	10	2 - 2,5

2.5. Exemples de techniques d'alimentation des ruminants

Les objectifs et les principes du rationnement sont résumés dans le schéma ci-dessous :



	Température moyenne en degrés centigrades	Degré hygrométrique p. 100	Évaporation par 24 h en mm	Teneur en eau des fourrages p. 100	Eau consommée par 24 heures en litres	
					zébus	taurins
SAISON DES PLUIES JUIN - SEPTEMBRE						
moyenne	30,4	57,9	2,32	74,7	16,1	12,5
extrêmes	28,4 - 37,7	42,1 - 69,3	1,47 - 3,78	71,1 - 78,4	10,4 - 23,2	7,4 - 19,0
SAISON SECHE OCTOBRE - MAI						
moyenne	32,6	28,2	6,75	29,4	20,9	20,6
extrêmes	28,2 - 38,7	13,1 - 42,1	3,35 - 9,48	8,1 - 62,8	12,2 - 28,8	12,0 - 25,1

Tableau 13 bis : TENEUR EN SEL DE L'EAU D'ABREUVEMENT

Bovins	Petits ruminants	Dromadaires
10,15 g/litre	13,20 g/litre	55 g/litre

(d'après Michelson 1986)

Lors du calcul d'une ration, il faut donc déterminer les besoins en énergie, en azote digestible et en minéraux pour l'entretien et la production.

La ration doit pouvoir être consommée par les animaux, c'est-à-dire que son encombrement caractérisé par le coefficient d'encombrement (MS en kg/UF) (tableau ci-dessous) ou que sa densité énergétique (UFL ou UFV/unité d'encombrement - INRA - 88) sont déduits des besoins énergétiques et de la capacité d'ingestion des animaux.

Le rapport MAD/UF de la ration doit correspondre à celui des besoins,de même que le rapport Ca/P (tableau ci-dessous)

	Coefficient d'encombrement MS en kg/ UFF	MAD en g/ Energie en UF	Ca/P
BOVINS			
Entretien	1,4 à 2	60 à 75	1,00 à 1,20
Croissance	1,4 à 1,6	100 à 130	2,00 à 2,50
Gestation	—	100	1,10
Lactation	1,2 à 1,8	80 à 130	1,25 à 1,30
Travail	1,5 à 2	—	—
Engraissement	1,4	80 à 100	—
OVINS			
Entretien	1,8	50 à 70	1,60
Croissance	1,4	120 à 190	1,40 à 1,50
Gestation	—	75 à 100	1,40 à 4,45
Lactation	1,6	100 à 130	1,40
Engraissement	1,6	70 à 75	—

En général, le régime est constitué de fourrages, dont l'ingestion est limitée par l'encombrement global de la ration et d'aliments concentrés et minéraux destinés d'une part à équilibrer les apports en énergie et en azote ainsi qu'en calcium et phosphore et d'autre part à satisfaire les besoins correspondants à l'objectif de production.

2.5.1. EXEMPLES DE CALCUL DE RATION

a) Vaches laitières

Pour une vache laitière de 300 kg de race jersiaise, élevée en stabulation libre et produisant 12 kg de lait à 5,5 p. 100 de matières grasses :

— l'éleveur dispose d'un foin de qualité assez bonne contenant 82 p. 100 de matière sèche – 8,2 p. 100 de matières azotées – 0,35 p. 100 de calcium – 0,13 p. 100 de phosphore et valant 0,48 U.F./kg.

Besoins :

12 kg de lait à 5,5 p. 100 de matières grasses équivalent à 15 kg de lait standard à 4 p. 100.

	M.A.D.	Ca	P	Energie en UF
Entretien (300 kg)	300 x 0,6 = 180 g	5 x 3 = 15 g	5 x 3 = 9 g	2,6 UF
Lactation (15 kg de lait standard)	15 x 60 = 900 g	15 x 3 = 45 g	15 x 2,5 = 37 g	0,38 x 15 = 5,7 UF
Total	1080 g	60 g	45 g	8,3 U.F.

— 15 à 16 000 U.I. de Vitamine A par kg d'aliments et un total de 2 500 à 3 000 U.I. de Vitamine D.

— Rapport Ca/P = 1,25

— Coefficient d'encombrement : 1,5

Couverture des besoins

Pour la satisfaction de ses besoins en énergie, il faudrait que la vache consomme 21 à 22 kg de foin. SI on estime la digestibilité des matières azotées à 0,50, c'est plus de 26 kg que l'animal devrait ingérer pour couvrir ses besoins en MAD. Dans ces conditions, le coefficient d'encombrement serait supérieur à 1,8 et l'animal devrait ingérer plus de 7 kg de matière sèche/100 kg PV. Or, une vache en lactation ne peut consommer plus de 3 à 3,5 kg de MS/100 kg de P.V. Il faut donc donner à la vache un concentré riche en azote. On prendra par exemple un mélange de tourteau d'arachide et de farine basse de riz.

Aliments	Quantités	M.S.	M.A.D.	Ca	P	U.F.
Foin	6,0 kg	4,9 kg	246 g	21 g	7,8 g	2,9
Tourteau	1,1 kg	1,0 kg	468 g	12 g	5,8 g	1,1
Farine basse de riz	5,0 kg	4,5 kg	370 g	2,5 g	33,5 g	4,5
Totaux	12,1 kg	10,4 kg	1084 g	35,5 g	47,1 g	8,5

Cette ration apporte les matières azotées digestibles et l'énergie suffisante pour couvrir les besoins.

Le coefficient d'encombrement 10,4/8,5 = 1,25 est correct.

Il faut ajouter 25 g de calcium pour rétablir un rapport Ca/P normal.

Pour l'obtenir, un apport de 70 g de poudre de coquilles d'huitres est suffisant.

Cette ration est certainement carencée en vitamines liposolubles A et D. L'adjonction d'une huile de foie de poisson au mélange tourteau + son peut facilement y remédier.

b) Boeufs de travail

Ration pour une paire de boeufs de trait de 7 ans, pesant 400 kg chacun, effectuant des labours :

— l'éleveur dispose de paille de riz, de drèches séchées de bière de mil (en petites quantités), de manioc sec.

Besoins :

Le labour est un travail fort. Dans cette production, c'est l'apport d'énergie qui est le plus important.

Poids des animaux	M.A.D.	Energie
2 x 400 kg	0,8 x 800 = 640 g	5/2 x 6,4 = 16 U.F.

Le coefficient d'encombrement doit être voisin de 1,5 et la quantité consommée doit être comprise entre 2,5 et 3 kg de MS/100 kg de P.V., soit entre 20 et 24 kg.

Couverture des besoins :

Aliments	Poids	M.S.	M.A.D.	U.F.
Paille de riz	12,0 kg	11,0 kg	36 g	4,2
Drèches	3,5 kg	3,1 kg	745 g	3,0
Manioc sec	10,0 kg	8,8 kg	0 g	8,8
Totaux	25,5 kg	22,9 kg	781 g	16,0

C.E. = 1,43
Consommation : 2,85 kg MS/100 kg de P.V.

Cette ration couvre les besoins des animaux et les normes sont respectées. Seule la teneur en MAD est excédentaire; elle pourrait être ramenée au besoin réel en diminuant la quantité de drêches (- 0,700 kg) et en augmentant la proportion de paille (+ 2 kg) ou de manioc (+ 0,700 kg). La paille augmenterait un peu trop la quantité de matière sèche à consommer ; le manioc ne modifierait ni l'énergie, ni l'encombrement.

Les besoins en Ca et en P sont couverts, mais il sera nécessaire d'ajouter un peu de sel (40 g).

2.5.2. EXEMPLES DE RATIONS A DISTRIBUER EN STABULATION

a) Ration d'embouche pour bovins

Taurillons Zébu-Gobra de 3 à 5 ans d'un poids moyen de 270 kg recevant de la paille de riz ad libitum (5,6 kg consommés) et 4,5 kg d'un concentré composé de mélasse (10), de farine de sorgho (60), de son de blé (18), de tourteau d'arachide (5), d'urée (2) et de minéraux (5). Gain quotidien moyen de 700 à 740 g/jour pendant 111 jours (CALVET et AL 1974).

b) Ration d'embouche pour moutons

b1. Moutons peuls sénégalais d'un an recevant *ad libitum*, une ration composée de coques d'arachides (30), de son de blé (30), de mélasse (27), de tourteau d'arachide (10) et de complément minéral (3).

Le gain quotidien moyen a été de 140 g/jour pendant 90 jours.

b2. Moutons touareg de 15 à 24 mois recevant une ration composée de fanes de niébé (45), de sorgho (18), de son de mil (28), de graines de coton (8), de

complément minéral (1). Le GQM a été de 153 g/jour pendant 100 jours (RICHARD et alii 1985).

b3. L'embouche de moutons ne donne pas toujours d'aussi bons résultats. L'adaptation au régime compliquée par des problèmes pathologiques est souvent difficile et les GMQ obtenus dans de nombreux essais sont proches de 80 g/j (RICHARD et alii 1985).

c) Ration pour vaches laitières

Vaches de 500 kg produisant 12 litres de lait et recevant des repousses de 40 jours de Panicum maximum (80 g de MAT/kg MS) *ad libitum*.

Consommation de fourrage	9,5 kg MS
Tourteau d'arachide	0,75 kg
Sorgho	2,4 kg

La quantité de concentré et sa composition sont à ajuster en fonction des variations saisonnières de la valeur nutritive du Panicum et des quantités ingérées de fourrage.

2.5.3. COMPLÉMENTATION DES ANIMAUX SUR PARCOURS

Le calcul d'une ration de complément pour les animaux exploitant les parcours naturels ou agropastoraux ne peut être basé sur la simple analyse des fourrages disponibles. En effet, compte tenu de la présence des fourrages ligneux et du tri effectué sur la végétation herbacée, la valeur énergétique du régime ingéré par les animaux au pâturage peut être supérieure à celle du fourrage moyen disponible de 0,1 et 0,2 UF/kg MS respectivement pour les bovins et les ovins. De même, les rations peuvent contenir respectivement pour les deux espèces, 40 g et 100 g de MAT/kg de plus que le tapis herbacé moyen.

Le choix d'une complémentation doit donc reposer sur une connaissance suffisante du comportement alimentaire des animaux sur parcours et surtout sur des résultats d'essais dans des conditions analogues.

a) Aliments de sevrage distribués à volonté à des veaux recevant tout le lait maternel jusqu'à 5-7 mois en zone soudano-guinéenne :

farine basse de riz - 60 ; sorgho, mil ou maïs - 14 ; tourteau d'arachide - 20 ; farine de sang ou de poisson - 2, sel - 1 ; mélange minéral - 1 ; farine d'os - 2.

b) Complémentation de jeunes bovins en croissance en zone sahélo-soudanienne.

Le GMQ annuel du zébu Gobra de 1 à 3 ans maintenus jour et nuit sur parcours naturels et abreuvés chaque jour passe de 250 à 300 g par jour si on leur distribue en saison sèche 500 g de tourteau d'arachide ou de coton ou 1 kg de graines de coton par jour.

c) Distribution de fanes d'arachides ou de niébé aux femelles en lactation ou aux animaux de trait.

d) Fabrication de blocs « mélasse - urée - minéraux » mis à disposition des animaux sur parcours ou recevant des fourrages pauvres en saison sèche.

La chaux vive et/ou le ciment sont utilisés comme liants, le son comme

absorbant. Les blocs moulés dans des seaux ou des auges de maçon pèsent entre 12 et 25 kg.

Formule (1)	Mélasse	Urée	Sel	Chaux vive	Ciment (2)	Son
1	45	10	5	0	15	25
2	50	10	5	5	5	25

(1) En fonction de la disponibilité en chaux vive.
(2) Le ciment doit être mélangé préalablement avec 37 pour cent de son poids d'eau.
(d'après Sansoucy 1986).

3. ALIMENTATION DES ANIMAUX MONOGASTRIQUES : PORCS ET VOLAILLES

La formulation des rations pour monogastriques se fait aujourd'hui par programmation linéaire à partir de matrices complètes tenant compte des conditions locales d'approvisionnement.

3.1. Tables de composition de quelques aliments destinés aux monogastriques

Les tableaux 14 a et 14 b indiquent la composition et la valeur nutritive des quelques sources importantes d'énergie, de protéines et de minéraux. Les données moyennes qui y figurent (INRA 1984) correspondent à des productions françaises ou à celles disponibles sur le marché d'importation.

L'utilisation de matières locales suppose un contrôle de laboratoire portant sur un nombre suffisant d'échantillons différents et représentatifs (10 par matière première) afin d'adapter les caractéristiques essentielles des tables (énergie, acides aminés essentiels, calcium, phosphore).

Les normes de formulation alimentaire doivent être adaptées aux conditions locales. Par exemple, en climat chaud l'ingéré énergétique décroît, ce qui entraîne une sous-consommation alimentaire pouvant provoquer une subcarence en acides aminés essentiels et en minéraux ou même une ingestion insuffisante de médicaments préventifs de la coccidiose pour les volailles. Il faut donc réajuster les concentrations du régime en fonction de l'ingéré énergétique alimentaire observé ; cela peut être fait par une simple règle de trois à partir des recommandations indiquées ci-dessous et des niveaux de consommation mesurés.

3.2. Alimentation des porcs

En élevage intensif, on distingue quatre types successifs d'alimentation du porc en croissance-engraissement :

— de présevrage, de 21 à 40 jours, durant lequel le poids vif passe de 5 à 10 kg (porcelet 1er âge),

Tableau 14 : TABLES DE COMPOSITION DE QUELQUES MATIÈRES PREMIÈRES UTILISÉES DANS L'ALIMENTATION DES MONOGASTRIQUES (adapté d'après INRA - 1984)

a) Sources d'énergie

Caractéristiques (p. 100 de produit brut)	CÉRÉALES ET LEURS ISSUES							AUTRES SOURCES D'ÉNERGIE					
	maïs	sorgho avec tannin	millet	riz paddy	son de blé	son vrai de riz	farine basse de riz	manioc	banane mure entière	patate douce	mélasse de canne	graisse animale	huile végétale
Matière sèche	86	86	88	87	87	90	89	87	22	33	75	99	99
Énergie brute (kcal/kg)	3860	3820	3950	3700	3950	4170	4300	3560	900	1400		9370	9450
Extractif non azoté	69,0	68,3	59,8	63,7	52,8	41,1	45,8	78,0	192	29,2			
- amidon	60,5	56,8	52,1	41,8	16,5		20,4	69,5	1,5	22,3			
- sucre	2,1		1,3	4,0	4,7		5,9	3,5	14,8	3,0			
Matière grasse	4,2	3,0	3,7	2,1	4,0	13,8	14,6	0,7	0,2	0,4		98,4	98,7
Cellulose brute	2,2	3,0	9,3	8,6	9,6	11,6	6,7	3,0	0,8	1,1			
Protéines brutes	**9,0**	**10,0**	**11,5**	**8,0**	**15,0**	**12,8**	**13,3**	**2,2**	**1,3**	**1,6**			
- lysine	0,25	0,23	0,19	0,28	0,56	0,56	0,35	0,08	0,06	0,06			
- méthionine	0,19	0,16	0,49	0,16	0,20	0,22	0,27	0,03	0,01	0,02			
- méthionine + cystine	0,39	0,33	0,68	0,35	0,50	0,42	0,56	0,05	0,03	0,04			
- tryptophane	0,06	0,09	0,16	0,09	0,24	0,13	0,13	0,02		0,03			
- thréonine	0,32	0,33	0,44	0,28	0,54	0,44	0,48	0,06	0,05	0,09			
Cendres brutes	**1,35**	**1,65**	**3,73**	**4,53**	**5,60**	**10,7**	**8,6**	**3,13**	**1,10**	**1,17**			
- calcium	0,01	0,04	0,04	0,05	0,13	0,07	0,04	0,20	0,01	0,04			
- phosphore total	0,27	0,34	0,28	0,26	1,20	1,40	1,3	0,15	0,03	0,05			
- phosphore dispon. (1)	0,05	0,05	0,08	0,10	0,60	0,14	0,19	0,05		0,02			
Énergie digestible pour le porc (Kcal/kg)	3400	3060	2870	2750	2450	2800	3320	3360	750	1200	2530	7900	8500
Énergie métabolisable pour les volailles (Kcal/kg)	3250	2810	2860	2760	1470		2980	2850			2230	8500	9250

(1) Phosphore « disponible » pour les volailles ; dans le cas du porc on ne considère, faute d'informations suffisantes sur la digestibilité de P, que le phosphore total.

Tableau 14 (suite) : TABLES DE COMPOSITION DE QUELQUES MATIERES PREMIERES UTILISEES DANS L'ALIMENTATION DES MONOGASTRIQUES (adapté d'après INRA - 1984)

b) Sources de protéines et de minéraux

Caractéristiques	TOURTEAUX						
(p. 100 de produit brut)	Arachide 50	Coprah	Coton	Palmiste	Soja 44	Soja 50	Tourneso non décortiqué
Matière sèche	91	90	91	90	88	88	90
Énergie brute (kcal/kg)	4360	3850	4280	4030	4150	4200	4100
Extractif non azoté	25,0	43,9	29,1	50,9	30,3	28,5	26,0
- amidon	6,9			3,00	3,3	3,1	5,0
- sucres		9,0		1,0	10,0	8,7	2,0
Matière grasse	1,4	1,6	1,4	1,7	1,8	1,9	1,8
Cellulose brute	10,0	16,0	13,0	15,0	7,4	3,4	26,5
Protéines brutes	49,2	21,5	41,0	18,5	42,5	48,0	29,5
- lysine	1,70	0,66	1,72	0,66	2,70	3,05	1,07
- méthionine	0,49	0,32	0,59	0,32	0,59	0,66	0,73
- méthionine + cystine	1,18	0,63	1,24	0,70	1,27	1,43	1,26
- tryptophane	0,49	0,15	0,49	0,19	0,57	0,65	0,38
- thréonine	1,33	0,67	1,39	0,61	1,67	1,88	1,06
Cendres brutes	**5,40**	**7,00**	**6,46**	**3,90**	**6,00**	**6,20**	**6,22**
- calcium	0,16	0,18	0,20	0,28	0,30	0,27	0,35
- phosphore total	0,60	0,60	1,00	0,60	0,62	0,69	0,90
- phosphore disponible(1)	0,06	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,15
Énergie digestible pour le porc (kcal/kg)	3640	2800	2490	2700	3430	3570	2200
Énergie métabolisable pour les volailles (kcal/kg)	2850	1330	1945	1240	2250	2560	1975

(1) cf tableau a

FARINES ANIMALES				SOURCES MINÉRALES			
Farine de poissons gras	Farine de poisson maigre	Farine de viande grasse	Farine de viande osseuse	Carbonate de Calcium	Coquille d'huitres	Farine d'os	Phosphate bicalcique
92	92	93	93				
4530	4300	3815	3160				
9,2	1,8	10,0	7,2				
59,3	71,3	50,5	42,7				
4,41	5,42	2,83	2,11				
1,62	2,07	0,71	0,53				
2,19	2,71	1,21	0,91				
0,63	0,75	0,29	0,21				
2,55	3,10	1,67	1,32				
20,70	**16,80**	**30,30**	**41,10**				
6,20	4,20	9,30	12,90	38	38	23,5	25
3,40	2,75	4,50	6,10	0	0,05	11,2	18
2,90	2,35	3,60	4,90			11,2	18
3650	3800	2550					
3150	3130	2770	1300				

(1) cf tableau a

— de post-sevrage jusqu'à un poids vif de 25 kg (porcelet 2e âge),
— de croissance entre 25 et 60 kg,
— de finition à partir de 60 kg jusqu'à l'abattage.

Ces normes de poids correspondent aux races améliorées et peuvent être modifiées suivant l'origine génétique des porcelets.

Les aliments peuvent être distribués à volonté ou en fonction d'un plan de rationnement. Dans les deux cas, la formulation est fixée d'après les apports recommandés indiqués aux tableaux 15 et 16.

Tableau 15 : APPORTS RECOMMANDÉS D'ÉNERGIE, PROTÉINES, ACIDES AMINÉS ET MINÉRAUX POUR LE PORC EN CROISSANCE - ENGRAISSEMENT ET LA TRUIE REPRODUCTRICE

Stade physiologique	Porcelet		Porc en croissance finition		Truie en gestation	Truie en lactation
	1er âge	2e âge	croissance	finition	(1)	
Intervalle de poids vif (kg)	5-10	10-25	25-60	60-100		
Intervalle d'âge (j)	21-40	40-70	70-130	130-180		
Matière sèche (p. 100)	90	90	87	87	87	87
Concentration énergét. (kcal) ED/kg aliment						
— étendue de variation	3300-3600	3300-3600	3000-3400	3000-3400	2800-3300	3000-3300
— concentration moyen.	3500	3500	3200	3200	3000	3100
Protéines brutes (p. 100 aliment)						
— teneur indicative	22	19	17	15	12	14
— teneur minimale en protéines équilibrées	20	18	15	13		
Acides aminés (p. 100 aliment)						
— lysine	1.40	1.10	0.80	0.70	0.40	0.60
— méthionine + cystine	0.80	0.65	0.50	0.42	0.27	0.33
— tryptophane	0.25	0.20	0.15	0.13	0.07	0.12
— thréonine	0.80	0.65	0.50	0.42	0.34	0.42
Minéraux (p. 100 aliment)						
— calcium	1.30	1.05	0.95	0.85	1.00	0.80
— phosphore	0.90	0.75	0.60	0.50	0.55	0.55
Quantité d'aliment (j/kg)	Cf. tableau 17				2,5	4,5-5,5
Apport énergétique/j (kcal ED) (2)	300-1750	1750-4200	4200-8000	8000-10000	7500	14000-17000

(1) Recommandations valables pour le verrat reproducteur.
(2) Sous climat tempéré ; sous climat chaud : voir le texte.

Tableau 16 : ADDITIONS RECOMMANDÉES D'OLIGO-ÉLÉMENTS ET VITAMINES POUR LE PORC EN CROISSANCE ET LA TRUIE EN UI/kg (ou ppm) (mg/kg)

	Porcelet	Porc en croissance	Truie
Oligo-éléments (mg)			
Fer	100	80	80
Cuivre	10	10	10
Zinc	100	100	100
Manganèse	40	40	40
Cobalt	0,1-0,5	0,1	0,1
Sélénium	0,3	0,1	0,1
Iode	0,6	0,2	0,6
Vitamines liposolubles			
Vit. A (UI)	10000	5000	5000
Vit. D (UI)	2000	1000	1000
Vit. E (mg)	20	10	10
Vit. K (mg)	1	0,5	0,5
Vitamines hydrosolubles			
thiamine	1	1	1
riboflavine	4	3	3
pantothénate de calcium	10	8	10
niacine	15	10	10
biotine	0,1	0,05	0,1
acide folique	0,5	0,5	0,5
vit. B 12	0,03	0,02	0,02
chlorure de choline	800	500	500

Sous climat chaud, les quantités ingérées sont inférieures à celles habituellement recommandées par les plans de rationnement (tableau 16) : elles diminuent par exemple d'un tiers entre 23 °C et 33 °C. Il faut donc accroître les teneurs en protéines et en acides aminés essentiels.

Tableau 17 : RECOMMANDATIONS MOYENNES DE DISTRIBUTION D'ALIMENT AUX PORCS CHARCUTIERS SOUMIS A UN PLAN DE RATIONNEMENT (d'après INRA 1984)

Poids vif (kg)	6	10	15	20	25	30
Aliment (1) (g/j)	180	500	770	1050	1250	1550
Poids vif (kg)	40	50	60	70	80	90
Aliment (g/j)	1900	2200	2500	2750	2900	3000

(1) Aliment à 90 p. 100 de matière sèche

Les recommandations alimentaires pour les truies et les verrats reproducteurs sont portées dans les tableaux 15 et 16.

Tableau 18 : EXEMPLE D'ALIMENT POUR PORC « PREMIER AGE » (5-10 kg)

	p. 100 aliment
Manioc (1)	40
Maïs	15
Sucre	10
farine de poisson	20
Tourteau d'arachide	12
Poudre d'os calciné	2
Sel	0,5
Complément minéral et Vitamine	0,5

(1) En zone tempérée, la limite d'incorporation du manioc recommandée est de 20 p. 100 dans les aliments « premier âge » et de 30 p. 100 au-delà (INRA 1984). En revanche, SERRES (1973) suite à son expérience personnelle à Madagascar, ne préconise aucune autre restriction que celles liées à l'équilibre des rations. D'autres auteurs de zone tropicale conseillent des taux maximaux d'incorporation du manioc compris entre 35 et 65 p. 100 dans les rations de croissance-engraissement (25 à 100 kg de poids vif - Cf. tableaux 20 et 21).

Tableau 19 : EXEMPLE D'ALIMENT POUR PORC « DEUXIÈME AGE » (10-25 kg)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Maïs broyé	40	15	-	62	33	-	23,5	35
Mil ou sorgho broyé	-	15	30	-	-	-	-	-
Farine de manioc	20	30	19	-	20,5	30	13	-
Son de mil	-	-	5	-	-	-	-	-
Son de blé	-	-	-	-	-	14	12	21,5
Drèches de brasserie	-	-	-	-	-	8	8	-
Farine basse de riz	11	6	5	-	-	-	-	-
Tourteau d'arachide	13	12	15	6,5	11	7,5	5	4
Tourteau de soja 50	-	-	-	20	18	17	17	18
Amandes de palmiste	-	-	-	3	6	12	10	10
Mélasse	-	-	-	5	8	8	8	8
Farine de viande	7	-	5	-	-	-	-	-
Farine de sang	-	2	3	-	-	-	-	-
Farine de poisson	-	8	-	-	-	-	-	-
Lait écrémé sec	5	3	-	-	-	-	-	-
Sucre	1	5	15	-	-	-	-	-
Poudre d'os	-	2,5	-	1,45	1,60	1,50	1,40	1,20
Coquilles d'huîtres	-	-	-	0,65	0,40	0,45	0,55	0,80
Sel	-	-	-	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Mél. minéral et vitaminé	3	1,5	3	-	-	-	-	-
Oligo-éléments, vitamines	-	-	-	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Méthionine	-	-	-	0,25	0,30	0,33	0,30	0,30
Lysine	-	-	-	0,15	0,20	0,22	0,25	0,20
Composition								
Matières protéiques	19,0	18,7	18,9	19,8	19,6	19,2	19,1	19,4
Matières grasses	5,7	4	4,5	4,4	4,9	7,2	6,9	7,2
Cellulose	3,0	2,6	2,6	2,7	3,2	5,9	5,4	4,7

Tableau 20 : EXEMPLE D'ALIMENT POUR PORC « CROISSANCE » (25-60 kg)

	1	2	3	4	5	6
Maïs écrasé	44,5	14,5	67	42	26	50
Sorgho	—	30	—	—	—	—
Farine de manioc	20	20	—	—	15	—
Farine basse de riz	10	10	—	—	—	—
Son de blé	—	—	—	18	14	—
Drèches de brasserie	—	—	—	—	5	11
Tourteau d'arachide	10	10	10	10	10	9
Tourteau de soja	—	—	10	8	9	8
Amandes de palmiste	—	—	—	9	10	9
Mélasse	—	—	—	10	8	10
Levure	1	1	—	—	—	—
Farine de sang	5	5	—	—	—	—
Farine de poisson	5	5	—	—	—	—
Poudre d'os	—	—	1,5	1,25	1,45	1,5
Coquilles d'huîtres	—	—	0,2	0,65	0,45	0,4
Sel	—	—	0,5	0,5	0,5	0,5
Mélange minéral et vit.	2	2	—	—	—	—
Oligo-éléments, vit.	—	—	0,5	0,5	0,5	0,5
Méthionine	—	—	0,2	0,1	0,1	0,1
Lysine	—	—	0,1	—	—	—
Composition						
Matières protéiques	16,9	16,9	16,8	17,0	17,2	17,1
matières grasses	4,9	4,9	3,2	4,0	5,5	4,6
Cellulose	2,2	2,2	2,3	6,2	6,4	6,8

Remarque : Serres (1973) propose des rations avec des plus fortes proportions de manioc ou d'issues de riz.

Tableau 21 : EXEMPLE D'ALIMENT POUR PORC « FINITION » (60-100 kg)

A. — Formules utilisant les issues de riz (en kg pour 100 kg)

Ingrédients	Issues seules	Issues + Maïs	Issues + Manioc	Issues + maïs + manioc
Farine de cônes	60	40	40	30
Son de riz	30	30	30	30
Maïs	—	18	—	17,5
Manioc sec	—	—	15,5	10
Tourteau d'arachide	5	7	10	8
Farine de poisson	2	2	2	2
Poudre d'os verts	1	1,5	1	1
Coquillages broyés	1,5	1	1	1
Sel	0,5	0,5	0,5	0,5
Concentré vitaminé (g)	150	150	150	150
Mathionine	—	—	50	—

B. — Formules utilisant le manioc sec (en kg pour 100 kg)

Ingrédients	Manioc seul	Manioc + Maïs	Manioc + Issues	Manioc + Maïs + Issues
Manioc sec	76	54	41	38
Maïs	—	23	—	15
Farine de cônes	—	—	20	15
Son de riz	—	—	20	15
Tourteau d'arachide	15	14	12	10
Farine de poisson	4	4	2	2
Farine de sang	2	2	2	2
Poudre d'os verts	2,5	2,5	2,5	2,5
Sel	0,5	0,5	0,5	0,5
Concentré vitaminé (g)	150 g	150 g	150 g	150 g
Méthionine	50 g	—	50 g	50 g

(extrait du Précis d'Élevage du porc - SERRES 1973)

3.3. Alimentation des poulets de chair et des poules pondeuses

Comme pour les porcs, sous climat chaud, l'ingéré énergétique diminue quand la température augmente. Les teneurs en minéraux et en acides aminés indiquées au tableau 22 doivent donc être ajustées pour une même concentration énergétique, en fonction du niveau de consommation. C'est le cas, en particulier, pour les poulets âgés de plus de 4 semaines et les poules pondeuses.

A titre d'exemple, la quantité d'énergie ingérée par un poule pondeuse « demi-lourde » qui est d'environ 310 Kcal/jour à 22 °C, diminue de 4 Kcal par degré entre 0 et 29 °C. Pour des températures supérieures à 29 °C, la quantité d'aliment consommée diminue même plus vite que le besoin énergétique. La formulation des régimes de ponte doit donc être adaptée en fonction de ces variations de telle sorte que les besoins journaliers indiqués au tableau 24 soient couverts.

De même, il est nécessaire d'augmenter de 10 à 15 p. 100 la teneur en protéines et en acides aminés indispensables des aliments distribués à la phase d'entrée en ponte lorsque les poulettes ont enregistré un retard de croissance — effet du climat — et/ou ont une ponte précoce - effet de la durée d'éclairement.

Remarque : Les méthodes d'alimentation des autres espèces (canard, dindon, pintade, oie) et du lapin sont traitées dans le Manuel d'Aviculture en zone tropicale (IEMVT 1983) et dans « l'Alimentation des animaux monogastriques » (INRA 1984).

Tableau 22 : APPORTS ALIMENTAIRES RECOMMANDÉS POUR LE POULET DE CHAIR ET LA POULE PONDEUSE (adapté d'après INRA 1984)

Poulet de chair				Poule pondeuse sous climat chaud
Age (semaines Consommation moyenne hebdomadaire en g (1)	1-2 120-235	3-4 425-670	après 4 750-1000	
Concentration énergétique (kcal EM/kg)	3000* (2)	3000* (2)	3000* (2)	2800
Protéines brutes (p. 100 aliment)	22,2	20,4	18,9	18,5
Lysine	1,16	1,02	0,87	0,93
Méthionine	0,48	0,44	0,39	0,41
Acides aminés soufrés	0,87	0,77	0,71	0,74
Tryptophane	0,21	0,20	0,16	0,20
Thréonine	0,70	0,61	0,49	0,65
Minéraux (p. 100 aliment)				
Calcium	1,03	0,93	0,83	4,0
Phosphore total	0,68	0,67	0,61	0,65
Phosphore disponible	0,43	0,42	0,36	0,40

(1) en zone tempérée
(2) voir texte

Tableau 23 : ADDITIONS RECOMMANDÉES D'OLIGO-MINÉRAUX ET VITAMINES POUR LE POULET ET LA POULE PONDEUSE EN PONTE

	Poulet de chair		Poule pondeuse
	Démarrage et croissance	Finition	
Oligo-minéraux (ppm)			
Fer	40	15	40
Cuivre	3	2	2
Zinc	40	20	40
Manganèse	70	60	60
Cobalt	0,2	0,2	0,2
Sélénium	0,1	0,1	0,15
Iode	1	1	0,5
Vitamines (UI/kg ou ppm)			
Vitamine A (UI)	10000	10000	8000
Vitamine D3 (UI)	1500	1500	1000
Vitamine E (ppm)	15	10	5
Vitamine K3 (ppm)	5	4	2
Thiamine (ppm)	0,5	—	—
Riboflavine (ppm)	4	4	4
Acide pantothénique (ppm)	5	5	4
Niacine (ppm)	25	15	—
Acide folique (ppm)	0,2	—	—
Vitamine B12 (ppm)	0,01	0,01	0,004
Chlorure de choline (ppm)	500	500	250

Tableau 24 : BESOINS QUOTIDIENS D'UNE POULE EN PÉRIODE DE PONTE : quantités minimales pour des performances maximales (production d'œufs et solidité de coquille) (en g/jour) (INRA 1984)

Besoin énergétique	Variable selon les souches et la température (cf texte)
Protéines brutes	16,0
Lysine	0,750
Méthionine	0,340
Acides aminés soufrés	0,610
Tryptophane	0,165
Valine	0,650
Thréonine	0,520
Minéraux	
Calcium	4,20
Phosphore total	0,60
Phosphore disponible	0,35
Sodium	0,16
Chlore	0,15
Acide linoléique	1,00

La plus grande attention doit être accordée à l'abreuvement des volailles. En claustration, il est préférable d'utiliser des abreuvoirs à niveau constant ou automatiques avec une longueur d'accès de 1 m par 100 poussins jusqu'à 60 jours et de 1,5 m au-delà.

Les besoins en eau augmentent avec la température ; ceux correspondant aux climats tempérés sont indiqués au tableau 25. Il est nécessaire de connaître la quantité d'eau consommée pour effectuer les traitements. Après avoir imposé un jeûne hydrique depuis la veille, la quantité de médicaments nécessaire est mélangée dans les 2/3 de la quantité d'eau consommée habituellement. Il est préférable d'augmenter le nombre d'abreuvoirs pour obtenir une consommation homogène.

Tableau 25 : CONSOMMATION JOURNALIÈRE D'EAU EN FONCTION DE L'AGE ET DE LA TEMPÉRATURE (en millimètres/jour/animal ou en litres pour 1000 animaux) (d'après SALICHON - INRA)

	Age	Température 15°	Température 25°
Poulets de chair et poulettes	3 premiers jours	15	15
	1 semaine	20	20
	2 semaines	30	30
	3 semaines	40	45
	4 semaines	50	60
	5 semaines	60	75
	6 semaines	75	90
	7 semaines	90	105
	8 semaines	100	125
	9 semaines	110	140
	10 semaines	120	150
	11 semaines	125	155
	12 semaines	130	160
	13 semaines	135	170
	14 semaines	140	180
	15 semaines	145	190
	16 semaines	150	190
	17 semaines	155	195
	18 semaines	160	200
	19 semaines	165	210
	20 semaines	170	215
	21 semaines	175	220
Pour les pondeuses :			
légères		200	250
1/2 lourdes		280	350

Tableau 26 : EXEMPLES D'ALIMENTS COMPLETS POUR POULETS DE CHAIR A BASE DE PRODUITS LOCAUX

Formule I	p. 100	Formule II	p. 100
— farine de maïs	50	— maïs germé	40
— mil	15	— farine de mil ou millet	20
— tourteaux d'arachide	18	— paddy farine	10
— farine de poisson	4	— tourteaux d'arachide	13
— farine de viande	8	— lait écrémé en poudre	3
— phosphate bicalcique	3,30	— levure séchée	1
— carbonate de chaux	1	— farine de feuilles de pois d'angole	5
— oligo-sels avicoles	0,15	— coquilles d'huitres ou craie	2
— sel iodé	0,50	— phosphate bicalcique	1
— adjuvant (a)	0,05	— sel iodé	0,50
		— huile de foie de morue suractivée	0,50
		— farine de poisson	4

Tableau 27 : EXEMPLES D'ALIMENTS COMPLETS POUR POULES PONDEUSES A BASE DE PRODUITS LOCAUX

Formule I	p. 100	Formule II	p. 100
— maïs concassé	20	— mil concassé	20
— mil non broyé	30	— maïs concassé	20
— son de riz	18	— son de mil	20
— germes de riz	15	— farine de manioc	10
— farine de viande	4	— patate douces en farine	6
— farine d'os	3	— arachides hachées (fanes)	10
— farine de sang	5	— poissons secs du fleuve	10
— farine de poisson	1	— coquilles d'huitres pilées ou craie	3
— tourteau d'arachide	1	— sel	1
— mélange minéral	1		
— paille hachée	1		
— actilevure	1		
	100		100

Remarque importante : Ces formules sont indicatives et doivent être ajustées en fonction de l'origine et de la composition des matières premières (par exemple farine de poisson « grasse » ou « maigre » et des quantités consommées par les animaux (cf ci-dessus).

Tableau 28 : APPORTS ALIMENTAIRES RECOMMANDÉS POUR LES EQUINS (**)

	Entretien	Croissance	Gestation	Lactation	Monte	Travail
Énergie en UF/1	0,5 UF/100 kg PV + 2 UF 200 kg : 3,0 300 kg : 3,5 350 kg : 3,7 400 kg : 4,0 500 kg : 4,5	100-200 kg PV : 3,5 200-300 kg : 4,5 300-400 kg : 5,0 400-500 kg : 5,5 500-550 kg : 6,5 500-550 kg : 6,0	Pendant 2 semaines avant saillie : 1 à 2 UFS/j du 6e au 11e mois complémentation progressive : 1 à 3 UFS/j	O,35 UFS*/kg de lait	1 à 3 UFS* selon le service	1 à 2 UFS* 5 UFS Léger : Moyen : Très fort : 5 UFS*
Besoins azotés (g MAD)	≅ 75	100-200 kg : 150 200-300 kg : 140-150 300-400 kg : 120-130 400-500 kg : 110-120 500-550 kg : 100-110	125 g/UFS*	150 g/UFS* Besoins totaux : 90 à 100 g/UF	125 g/UFS*	75 g/UFS*
Besoins vitaminiques : Vit. A en UI/kg aliment sec Vit. D/100 kg PV Vit. E	3000 à 4000 600 UI	3000 à 5000	3750 à 5000	5000 à 7000	3750 à 5000	2500 à 3750 Fort : 2 à 4 UFS*
			ou 15 p. 100 des besoins en vit. A 20 mg			
Besoins minéraux Ca P C1Na	 5 g/100 kg PV 3 g/100 kg PV 5 g/kg aliment	6 mois 12 mois 24-30 mois en g/jour 30 à 40 33 à 45 30 à 40 18 à 24 21 à 28 20 à 27 15 à 40 g/jour	 50 à 70 g/j 30 à 45 g/j 25 à 45 g/j	 60 à 75 g/j 40 à 50 g/j 30 à 45 g/j	 60 à 75 g/j 40 à 50 g/j	 30 à 50 g/j 21 à 30 g/j 30 à 70 g/UFS*
Quantités ingérées en kg MS/100 kg PV	1,5	jusque 300 kg PV : 3 300-400 kg : 2,5 400-500 kg : 2 500-550 kg : 1,5	1	2	2	2 à 3

* UFS = Unité Fourragère supplémentaire. ** D'après R. Wolter.

4. ALIMENTATION DES CHEVAUX ET DES ANES

Exemples de calcul des besoins pour le travail :

Besoin d'un cheval de 300 kg :
— au repos : 3,5 UF par jour
— au travail :6,5 UF par jour

et 500 g de matières azotées digestibles (entretien et travail).

Besoin d'un âne de 100 kg :
— au repos : 1,5 UF par jour
— travail léger : 2,5 UF
— travail soutenu : 4,0 UF

Les besoins en eau d'un cheval sont de 30 à 50 litres par jour.

5. ALIMENTATION DES DROMADAIRES

5.1. Besoins alimentaires des dromadaires

Les besoins exacts en énergie et en azote n'ont pas été établis. Ils semblent proches de ceux des bovins dont les normes peuvent servir de référence.

La capacité du dromadaire à stocker l'eau et à limiter sa déperdition hydrique lui permet de supporter une privation d'eau de 8 jours en saison sèche et de plusieurs semaines lorsque la végétation qu'il ingère a un taux d'humidité très élevé. Il est capable de reconstituer sa réserve hydrique très rapidement : 100 l d'eau peuvent être consommés en 15 minutes.

Les besoins en minéraux ne sont pas connus davantage. Ils semblent toutefois supérieurs à ceux des autres ruminants. Les dromadaires sont très sensibles aux déficits et aux déséquilibres minéraux. Ils ont une préférence certaine pour la végétation halophyte et pour les eaux saumâtres : ils tolèrent une salinité de l'eau allant jusqu'à 5,5 p. 100.

5.2. Utilisation digestive des aliments

Seules quelques observations permettent de supposer que :
— le dromadaire valorise mieux les constituants pariétaux (fourrages grossiers) que les autres ruminants : la digestibilité de la cellulose serait de 20 p. 100 supérieure à celle du mouton ;
— le recyclage de l'azote est supérieur à celui des autres ruminants : l'excrétion d'azote urinaire serait inférieure de 40 p. 100 à celle du mouton ;
— l'efficacité de la ration alimentaire diminue dès que le dromadaire est abreuvé avec une eau atteignant un degré de salinité de 2 p. 100.

5.3. capacités d'ingestion

La plupart des essais menés en stabulation avec des aliments grossiers ont mis en évidence des consommations très faibles : de 1 à 1,5 kg MS/100 kg PV, soit de 30 à 50 g/kg P^{075}. Quelques auteurs citent des capacités d'ingestion allant jusqu'à 3,4 kg MS/100 kg PV mesurées sur des femelles à forte production laitière, alimentées de fourrages verts d'excellente qualité (Revue mondiale de Zootechnie 1986).

Tableau 29 : QUELQUES RÉSULTATS DE CONSOMMATION DE MATIÈRE SÈCHE PAR LE DROMADAIRE (d'après CIHEAM/ALGÉRIE 1986 et HOSTE et AL 1985)

AUTEURS	RATION ALIMENTAIRE	QUANTITÉ CONSOMMÉE	DROMADAIRES	
			Effectifs	Poids
SCHMIDT-NIELSEN (1964)	Foin + dattes	0,9 kg + 1,39 kg	1	250 kg
MALOIY (1972)	Foin de Cynodon dactylon	1,3 à 5,3 kg	3	190 à 460 kg
FARID et al. (1980)	70 % paille de blé 30 % trèfle d'Alexandrie	3,6 kg (abreuvement quotidien)	2	538 kg
		3,3 kg (abreuvement tous les 12 j.)	2	522 kg
BAKHIT et MIRGANI (1986)	Foin graminées naturelles	38 g/kg $P^{0,75}$	2	
	Foin graminées naturelles + urée	52 g/kg $P^{0,75}$	2	
GERARD et RICHARD	Foin de graminées à 53 g MAT/kg MS et 320 g CB/kg MS	51 g/kg $P^{0,75}$	11	225 à 417 kg

II

LES RESSOURCES FOURRAGÈRES

La croissance démographique des troupeaux et les modifications climatiques impliquent une orientation nécessaire vers la semi-intensification ou l'intensification des ressources fourragères utilisées pour l'alimentation des animaux.

Les possibilités d'extension des parcours par l'aménagement de nouveaux points d'abreuvement ont déjà été largement utilisées. Elles permettaient de garder un équilibre entre les capacités de production des parcours et la croissance des troupeaux. Actuellement, il semble que l'on ait atteint le point de rupture. Le nouvel équilibre ne peut être retrouvé en élevage traditionnel que par une réduction du cheptel et une amélioration des parcours et de leur gestion associée ou non aux cultures fourragères et à l'utilisation systématique des sous-produits et des résidus de récoltes.

Dans ce contexte, l'estimation de la production quantitative mais surtout qualitative des parcours liée au maintien ou à l'accroissement de leur hétérogénéité floristique revêt une importance toute particulière.

Le maintien de la qualité des parcours exige le plus souvent une amélioration de la gestion qui devra porter sur les traditions pastorales et les réglementations sylvopastorales.

Certains parcours indispensables dans la chaîne d'alimentation saisonnière peuvent exiger une régénération (parcours inondables, bourgoutières) qui pourra être difficile et quelquefois onéreuse.

Les cultures fourragères connaîtront un développement sans doute important lié aux nécessités d'intensification des ressources fourragères. Il dépendra du coût et des disponibilités des sous-produits agro-industriels. Par ailleurs, les plantes fourragères jouent un rôle essentiel dans la lutte anti-érosive, le maintien de la fertilité des sols (Alley cropping, haies fourragères, agroforestières).

C'est dans cet environnement évolutif que seront présentées très résumées :
— les méthodes d'étude des parcours;
— leur exploitation traditionnelle ;
— l'amélioration de l'exploitation ;
— les cultures fourragères.

1. MÉTHODES D'ÉTUDE ET D'APPRÉCIATION DES PARCOURS

Les méthodes utilisables peuvent avoir deux objectifs :
— d'ordre général, pour définir le stade actuel des pâturages, leur composition floristique, leur capacité de charge, leur tendance évolutive, régressive ou amélioratrice;
— d'ordre restreint, pour préciser l'évolution des pâturages sous l'effet d'exploitations particulières; le recours aux méthodes statistiques s'avère nécessaire.

Les méthodes d'inventaire comportent plusieurs volets.

1.1. Botanique et végétation

— Inventaire botanique et répartition écologique.
— Inventaire par strates : herbacées, arbustives, arborées; espèces d'ombre et de lumière.

Les relevés avec cote d'abondance-dominance sont utilisés pour définir les types de pâturages et détecter les séries évolutives dues à l'action de l'homme et des troupeaux. La méthode de points quadrats sur sites représentatifs est plus précise.

D'autre part, l'analyse microscopique des débris végétaux contenus dans les fèces ou les bols oesophagiens des animaux au pâturage permet d'identifier les espèces fourragères consommées.

Cette méthode est basée sur l'étude des caractéristiques anatomiques de l'épiderme des végétaux et a l'avantage d'observer la variation du régime alimentaire dans le temps et dans l'espace.

Plus la richesse floristique sera grande, le plus souvent meilleure sera la qualité du pâturage. De façon générale pour les strates végétales inférieures à un mètre, les plantes sont classées en trois catégories : les graminées annuelles, les graminées vivaces et les autres plantes.

1.2. Étude statistique

Dans le cadre de parcelles expérimentales ou d'application d'un traitement en vraie grandeur sur station expérimentale, l'évolution du couvert doit être abordée de façon plus fine avec contrôle statistique.

En pâturage naturel, la comparaison entre un témoin et un traitement concerne une population d'espèces à laquelle peut s'appliquer :

— la recherche du nombre nécessaire d'observations pour éviter l'effet du hasard (intervalle de confiance) ;
— l'appréciation statistique de l'évolution en comparant effectif observé et effectif théorique par le test.

Les méthodes de relevés linéaires par fréquence et couvert de base sont habituellement utilisées (three steps method, méthode de Monnier, méthode Delpech).

1.3. Valeur nutritive

Des prélèvements de fourrages consommables sont effectués à différents stades car un pâturage fournit un fourrage de qualité variable et une même espèce présente une valeur fourragère différente selon son stade végétatif.

La valeur nutritive diminue avec l'âge de la pousse, mais la production à l'hectare augmente et la période optimale d'utilisation est un moyen terme (valeurs encadrées dans le tableau suivant).

Pour les graminées, la chute de la MAT et des UF est beaucoup plus rapide que pour les légumineuses comme le montre l'exemple suivant en zone guinéenne.

Les productions appétées des espèces ligneuses sont très importantes en saison sèche, surtout pour leur apport azoté.

Valeur bromatologique et production

	Temps de croissance	MAT p. p. 100 MS	UF/kg MS	MS p. 100	Rendement MS/ha
GRAMINÉS					
Saison des pluies					
Digitaria umfolozi	15 j	17	0,6	14	200 kg
(gr. fine et basse)	40 j	11,5	0,6	21	850 kg
	60 j	6	0,4	21	1 400 kg
	80 j	4,5	0,4	23,5	
	100 j	3,5	0,4	27	3 200 kg
LÉGUMINEUSES					
Stylosanthes gracilis					
Saison des pluies	80 j	14,5	0,7	22,5	
	110 j	12,5	0,65	30	
Saison sèche	65 j	14	0,75	35	
	130 j	11	0,65	45	

Les principales valeurs nutritives font l'objet du tableau 1. Les analyses actuelles subissent une évolution pour s'adapter aux nouvelles normes. Toutefois, compte tenu de l'aspect extensif du bétail tropical, les anciennes données restent parfaitement utilisables.

1.4. Règles pratiques de prélèvements d'échantillons

Des prélèvements d'échantillons végétaux sont indispensables pour connaître :
— la flore des pâturages,
— la productivité des espèces consommées,
— la valeur bromatologique des productions appétées.

1.4.1. PRÉLÈVEMENTS D'ÉCHANTILLONS BOTANIQUES

• **Récolter des échantillons complets**
Si la plante est de petite taille : on l'arrache pour récolter l'appareil souterrain.
Si la plante est de taille moyenne : on la plie plutôt que de la couper.
Si la plante est de grande taille (arbres) on coupe des rameaux jeunes et vieux portant : feuilles, fleurs ou fruits selon les cas. Couper les fruits si ceux-ci sont gros (découper en secteurs ou en tranches). Prendre des fragments d'écorce du tronc.

• **Récolter plusieurs part de chaque espèce**
Au moment de la détermination, il faut pouvoir sacrifier un ou plusieurs échantillons en vue de dissections :

— pour les petites espèces : 5 à 10 parts,
— pour les autres : 2 à 5 parts.

• Tous les spécimens récoltés sur un même pied ou dans une même touffe, en un même point, au même moment, doivent porter le même numéro :

Chaque collecteur doit numéroter ses récoltes dans un ordre logique : utiliser pour cela un carnet à souches et y noter le maximum de renseignements.

Mettre les plantes sous presse dès leur récolte. Disposer des cartons ondulés assez souvent entre les groupes de plantes (aération).

Matériel de récolte

1. Outil tranchant (sécateur, couteau, piochon)
2. Papier journal, papier buvard « herbier »
3. Presse à herbier (grilles + sangles)
4. Sachets et étiquettes de bijoutier pour petits échantillons
5. Carnet de récolte (carnet à souches).

Meilleures et plus complètes seront les fiches, plus la détermination sera facile et sûre.

1.4.2. PRÉLÈVEMENTS POUR VALEUR FOURRAGÈRE ET PRODUCTIVITÉ

Selon l'homogénéité des formations on déterminera le nombre et l'importance des surfaces récoltées. En général celles-ci sont des carrés de 1 à 3 ou 4 m de côté, disposés au hasard et avec une répétition statistiquement convenable.

Le matériel nécessaire comprend :

— piquets et cordelette, ou autre matériel pour délimiter le placeau sur le site;
— matériel de coupe adapté (cisailles, faucilles ou autres);
— sacs de récolte, numérotés, assez grands et en tissu perméable à l'air (calicot, ou autre tissu aéré);
— pesons ou balances de gabarit adapté;
— cahier d'enregistrement des échantillons.

1.4.3. SÉCHAGE DES ÉCHANTILLONS BOTANIQUES ET BROMATOLOGIQUES

Le séchage doit être aussi rapide que possible afin d'éviter les fermentations et le développement de moisissures.

En saison sèche, les sacs à prélèvements et les presses à herbier peuvent être suspendus au soleil.

Le papier buvard des échantillons botaniques doit être changé fréquemment et les sacs à prélèvements ouverts pour brasser le fourrage.

En climat humide, le séchage nécessite des moyens plus appropriés :

— sur une claie au-dessus d'un feu;
— à l'aide d'une étuve à 60°C, électrique ou à gaz.

Les principales caractéristiques de ces étuves sont données dans le manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères de G. Boudet.

1.5. Productivité et appréciation de la capacité de charge

La capacité de charge est le nombre d'UBT qui peut être entretenu sur 1 ha de pâturage au cours d'une période donnée.

C'est une donnée particulièrement demandée pour tous les aménageurs et les économistes. Mais c'est une notion relativement grossière qui doit permettre de réduire les risques de dégradation du pâturage tout en sauvegardant les performances du bétail.

Elle dépend de la phytomasse consommable produite et de sa qualité liée en particulier à son hétérogénéité floristique. La formule suivante permet sa détermination :

$$CC = \frac{BA \times K}{DP \times 6{,}25}$$

CC : Capacité de charge
BA : Phytomasse consommable (kg de MS/ha)
K : Coefficient d'utilisation de la phytomasse par les animaux (il peut varier de 0,10 à 0,90)
DP : Durée de la période (jours)
6,25 : Poids de la MS consommée théoriquement par 1 UBT.

Toutefois le plus souvent, on estime en moyenne qu'un tiers de la phytomasse consommable est utilisé par les animaux (K = 0,3) et ce pour réduire les risques de dégradation (assurer une couverture du sol en fin de saison sèche, ne pas épuiser les espèces vivaces et permettre un tri par les animaux).

	Phytomasse en T/ha/an	Charge annuelle	Charge de pluies (5 mois)
Andropogon gayanus	4	0,6	1,4
Hyparrhenia rufa (vallée)	13	1,9	4,6

La détermination précise de la capacité de charge nécessite des essais de charge avec contrôle des performances zootechniques et des rythmes d'exploitation.

1.6. Cartographie et télédétection

La valeur de la cartographie des ressources fourragères, quelle que soit la technique de réalisation, dépend d'abord du choix, de la représentativité et du nombre des sites d'observation ainsi que de la précision du travail de terrain effectué sur ces sites.

La cartographie des ressources fourragères fournit une représentation conventionnelle des principaux types de pâturages d'une région donnée, permet d'en mesurer leurs superficies et d'en estimer les capacités de charges.

C'est pourquoi elle constitue un outil de base essentiel de gestion de l'espace pastoral pour :

— les planificateurs (cartes allant du 1/1 000 000 au 1/200 000) ;
— les aménageurs (cartes au 1/100 000 : carte d'inventaires régionaux) ;
— les gestionnaires (cartes détaillées : du 1/20 000 au 1/5000).

La réalisation de ces cartes reposait autrefois sur l'interprétation de photographies aériennes pour généraliser les observations effectuées sur le terrain.

Avec le développement des techniques de télédétection, les données satellitaires sont de plus en plus utilisées pour les inventaires des ressources du milieu naturel. Sous forme photographique, les images de satellites et notamment celles stéréoscopiques du satellite SPOT, exploitées selon des méthodes analogiques, permettent d'établir des cartes de parcours en se basant toujours sur les observations du terrain.

Les enregistrements des satellites, sous forme numérique, offrent davantage de possibilités d'exploitation grâce aux caractéristiques informatiques des systèmes de traitements d'images spécialisées en télédétection.

Avec ces matériels, il est possible d'élaborer des cartes des ressources du milieu naturel, de l'occupation des sols, et dans les régions sahéliennes des cartes de phytomasse herbacée avec toutes les informations statistiques correspondantes. Par ailleurs, l'aspect répétitif des images données par les satellites offre la possibilité de suivre l'évolution temporelle de phénomènes dynamiques (extension des surfaces cultivées, suivi interannuel de la phytomasse, etc.).

2. EXPLOITATION TRADITIONNELLE DES PARCOURS

En zone sahélienne, recevant moins de 500 à 550 mm en deux à trois mois, les pâturages de steppe à *Aristida mutabilis, Schoenefeldia gracilis,* etc., sont exploités par transhumance saisonnière. Cette transhumance va des steppes dunaires aux prairies fluviales à inondation temporaire et des points d'abreuvement temporaires aux points d'eau permanents.

En région de savanes, à saison pluvieuse importante, l'élevage bovin coexiste avec les cultures vivrières et de rente et les pâturages sont surtout constitués par :

— *Andropogon* spp. en savanes soudaniennes,
— *Hyparrhenia* spp. en savanes périforestières bénéficiant de deux saisons des pluies,
— *Panicum maximum* et *Pennisetum purpureum* sur jachères, succédant aux cultures, après défrichement de la forêt dense.

L'exploitation de ces pâturages de savanes se fait en forte charge, aux abords des villages, en saison des pluies, avec gardiennage limité à la protection des cultures et en vaine pâture itinérante sur savanes et prairies fluviales après les feux courants de saison sèche.

Les techniques traditionnelles d'utilisation des pâturages peuvent être à l'origine d'une évolution spectaculaire de la végétation, et aboutissent parfois à des faciès de dégradation importante.

2.1. En climat à saison sèche marquée (Sahel)

Un premier facteur de dégradation est l'homme lui-même par ses besoins en bois de feu et de construction ainsi que par ses défrichements pour mise en culture.

Près des points d'eau permanents d'accès facile toute l'année (grands fleuves), une tendance à la sédentarisation des troupeaux aboutit à une transfor-

mation de la flore herbacée avec diminution du couvert herbacé et réduction des ligneux vers une forme en boule et coussinet.

Près des mares temporaires de saison des pluies, les graminées n'arrivent plus à fructification et font place à des espèces appétées à cycle très court comme la légumineuse *Zornia glochidiata*. La surcharge peut créer une dénudation du sol qui facilite le remaniement par érosion éolienne et ruissellement en nappe aux premières tornades, aboutissant à des microdunes ou des zones dénudées et colmatées avec glaçage, ce qui amorce une réduction des surfaces colonisées par la végétation.

Près des points d'eau fréquentés en saison sèche uniquement l'évolution est moins préoccupante, à l'exception de la disparition des ligneux recherchés comme bois de feu.

Les abords des puits, dénudés et remaniés par piétinement, en saison sèche ne représentent pas plus une désertification qu'une plaine à céréales des pays tempérés après la récolte. Dès les premières pluies, ces terrains sont recouverts par une végétation nitrophile dense et, plus loin, les graminées annuelles se régénèrent car elles peuvent fructifier avant le retour des troupeaux. Il y a cependant enrichissement de la flore par des espèces zoochores (*Cenchrus biflorus*), mais la richesse du pâturage peut s'en trouver accrue.

Parfois une régénération d'espèces ligneuses se trouve favorisée sur des sites écologiques divers, souvent à la suite de l'ingestion de fruits appétés, les graines étant rejetées dans les fèces avec une faculté germinative accrue.

2.2. En climat à saison sèche courte (savanes périforestières)

Dans les pâturages exploités toute l'année, les *Hyparrhenia* sont souvent remplacés par des espèces moins productives comme *Sporobolus pyramidalis* (pagamé).

L'élevage traditionnel transhumant aboutit à la dénudation avec érosion des crêtes et hauts de pentes pâturés en saison des pluies et à l'embroussaillement des bas de pentes.

Dans les zones à forte densité de population, il y a compétition entre l'élevage et l'agriculture au niveau de l'exploitation des terres. Une surcharge toute l'année provoque souvent un embuissonnement avec des espèces pionnières de forêt (*Harungana madagascariensis*) et dans ce cas, l'éleveur devient l'allié du forestier !

3. AMÉLIORATION DE L'EXPLOITATION DES PATURAGES

3.1. En climat à saison sèche marquée (Sahel)

Une certaine réorganisation du terroir s'est avérée indispensable pour maintenir un équilibre entre les besoins des populations et les possibilités du milieu.

Les grandes transhumances vers les tropiques en saison des pluies et en direction de l'équateur en saison sèche ne sont plus une généralité, mais réservées à des nécessités locales (dues au manque de possibilités d'abreuvement à telle ou telle saison).

Partout où la pluviosité le permet, malgré les variations inter-annuelles, le

terroir devrait être équipé d'une infrastructure d'abreuvement adéquate : puits ou forage de saison sèche; eaux de surface, avec traitement antiparasitaire des animaux si nécessaire, en saison des pluies.

Il semble donc indispensable de porter une attention particulière au problème de l'abreuvement de saison des pluies. Il est en effet souhaitable de réduire la charge autour des mares importantes traditionnellement fréquentées en saison des pluies et ce, avec une intensité croissante au cours de ces dernières années. Les études définissent les conditions favorables à la création de mares-réservoirs pouvant conserver l'eau durant toute la saison de végétation (configuration du terrain, textures favorables du sol et du sous-sol immédiat : nature des argiles, sables homométriques, etc.).

Cet aménagement du terroir comprendrait :

— **un point d'eau permanent central** à proximité duquel serait installé un village permanent, bénéficiant si possible de quelques cultures vivrières avec irrigation d'appoint à partir du forage, pour assurer une production satisfaisante des céréales vivrières;

— **un périmètre de pâturage exploité en saison sèche**, adapté aux possibilités de charge et au débit du point d'eau, ce périmètre ne dépassant pas un rayon de 10 km.

Ce type d'aménagement est surtout recommandable lors de la mise en exploitation de territoires jusque là désertés par suite de l'absence de possibilités d'abreuvement traditionnelles (mise en place de forages profonds ou de réservoirs par des techniques nouvelles).

La protection contre les feux courants doit devenir une réalité. Il y a danger dès que la phytomasse herbacée dépasse 1 tonne/ha. Les réseaux de pare-feu lorsqu'ils existent et sont entretenus, les pistes automobiles, les sentes du bétail peuvent parfois stopper les feux ; mais ils doivent surtout servir de moyens d'accès rapides pour la mise en œuvre de contre-feux.

Une bonne restauration des parcours sahéliens doit prendre en considération la notion de réservation, c'est-à-dire la mise hors pâture pendant la période de croissance et l'ouverture en saison chaude. De plus, 10 à 20 p. 100 des parcours devraient être mis en réserve pour la période de soudure en cas d'année déficitaire.

Mais pour que de tels principes deviennent réalité, il reste indispensable de revoir les droits et usages coutumiers, d'adapter l'éducation des éleveurs, modifier certaines réglementation sylvo-pastorales existantes pour trouver un cadre juridique compatible avec une nouvelle gestion des pâturages.

3.2. En climat à saison courte (savanes)

Plus la saison des pluies s'allonge, plus le tapis herbacé est dominé par des graminées vivaces et l'utilisation rationnelle du pâturage doit faire intervenir la notion de rotation adaptée au rythme végétatif, mais aussi au niveau de technicité des éleveurs. Dans cette rotation la charge est surtout fonction de la productivité du pâturage soumis à la rotation adoptée.

L'exploitation d'un pâturage doit s'effectuer en respectant un rythme permettant aux plantes d'accumuler assez de réserves pour résister au broutage et procurant à l'animal un fourrage de bonne qualité tout au long de l'année. Deux principes peuvent être adoptés :

— **rotation serrée** : pendant la saison pluvieuse, l'herbe produite est entièrement consommée à un rythme approprié (20 à 30 jours de repos) puis un autre pâturage est exploité en saison sèche;
— **rotation lâche** : un fourrage de qualité moyenne est fourni au bétail toute l'année, soit par une sous-consommation de saison des pluies, soit par un traitement, comme le feu de début des pluies, qui retarde la repousse de l'herbe.

3.2.1. EXEMPLES DE CHARGES EXPÉRIMENTÉES EN ROTATION SERRÉE

— **Pour une exploitation de saison des pluies** (Wakwa - Cameroun) (en rotation « pâturage tournant » avec 5 jours de pacage et 21 jours de repos) et végétation à *Hyparrhenia* spp.
  - **une charge de 500 kg de poids vif/ha/saison**
    Cette forte charge assure le meilleur entretien du troupeau et le pâturage prend l'aspect d'une pelouse rase à touffes étalées, mais sans fructification.
  - **Une charge de 250 kg** maintient le troupeau en état et assure la conservation du pâturage naturel, avec fructification de la moitié des touffes et apparition de quelques espèces de remplacement moins appétées.

— **Pour l'entretien d'un troupeau toute l'année**
  - **charge de 500 kg en saison des pluies** par rotation avec un mois de repos, puis charge de 100 kg en saison sèche sur d'autres pâturages préparés par un feu précoce échelonné sur les types écologiques : plateaux cuirassés puis pentes et bas de pente;
  - **charge de 250 kg/ha/an** (Wakwa) sur 3 parcs.
    a) Utilisation de deux parcs avec alternance d'exploitation chaque mois. Mise à feu précoce de début de saisons sèche du 3^{e} parc, en repos pendant les pluies et pâturé en soudure pendant la 2^{e} partie de la saison sèche. Chaque année, le parc en repos long est différent. Cette exploitation assure contre les effets d'un feu accidentel.
    b) Avec une exploitation en saison des pluies identique à la précédente, le 3^{e} parc est ouvert au bétail, en saison sèche sans préparation. Le troupeau pénètre progressivement la masse de pailles et repousses. Les refus de ce parc sont nettoyés par le feu aux premières pluies et ce parc est ensuite pâturé après un mois de repos.

Cette technique exige une maîtrise absolue des feux accidentels.

Cette rotation sur trois parcs semble la mieux adaptée à la vulgarisation en climat à saison sèche courte. Elle nécessite toutefois des adaptations pour chaque situation particulière, selon l'importance du pâturage à réserver en saison sèche : 1 ou 2 ou même 4 parcs, ce qui modifie d'autant le rythme de mise en repos.

En règle générale, la pâture de saison des pluies doit s'opérer sur 2 parcs, afin de pratiquer une rotation primitive en balancier, respectant un repos de 3 à 5 semaines, selon l'importance des repousses.

Parfois les pâturages exploités toute l'année peuvent être seulement divisés en deux blocs suffisamment vastes pour englober les divers faciès écologiques

du lieu. Selon le saisons les animaux sont alors guidés vers des faciès préférentiels (un déplacement d'abris de pierres à lécher peut faciliter ces transferts de pacage).

3.2.2. EXEMPLE DE CHARGES EXPÉRIMENTÉES EN ROTATION LACHE.

La rotation de saison des pluies s'effectue alors à des intervalles de plusieurs mois, la chute de qualité de l'herbe âgée étant modérée par l'action d'un feu de début des pluies (feu différé) ou de saison des pluies (feu de contre-saison).

Kianjasoa - Madagascar (pluies d'octobre à mai-juin) exploitation sur 3 parcs, charge 100 kg/ha/an.

Mois	10	3	6	10
Saison des pluies	/ - /			/xx/
Parc 1	/xxxxxxxxxxxxx/			
Parc 2		Feu	/xxxxxxxxx/	/xxx/
Parc 3		/xxxxxxxxxx/		
(pâture = /xxxxx/)				

L'année suivante, en octobre, parc 1 devient 2, 2 devient 3, 3 devient 1.

Le feu de contre-saison intervient après un repos d'un an et l'herbe produite en saison des pluies (10 à 3) peut être brûlée grâce aux refus de la 2e partie de la saison des pluies de l'année précédente. Après le feu, la repousse retardée est encore de valeur « entretien » en début de saison sèche où elle est pâturée. Cette chute de vigueur reste appréciable l'année suivante, ce qui autorise la pâture en 2e partie de saison des pluies.

Si l'on tient compte des résultats de Wakwa (Cameroun) où le pâturage est mis en repos 1 an sur 3 pour sa régénération et le contrôle des ligneux et de la rotation lâche de Kianjasoa (Madagascar) où après une pâture quasi continue de mars à mars succède une année de repos, on s'aperçoit que l'essentiel pour la sauvegarde d'un parcours en zone humide est d'assurer une mise hors pâture périodique.

4. CULTURES FOURRAGÈRES

Les cultures fourragères se développent dans plusieurs pays. Elles répondent aux deux besoins principaux :

— constitution de réserves de saison difficile,
— alimentation des élevages intensifs,
— régénération des sols par la jachère cultivée en association agriculture-élevage,
— amélioration des pâturages naturels dégradés ou à faible couvert.

Les potentialités de production des plantes fourragères sont considérables en région de savanes ou en cultures irriguées.

Leur extension suppose la possibilité d'approvisionnement en semences fertiles et nécessite l'emploi d'une fertilisation adaptée.

D'importants travaux réalisés ont permis d'améliorer la qualité de semences en Côte-d'Ivoire par :

- l'ORSTOM et l'IEMVT sur les *Panicum maximum* et leurs hybrides apomictiques;
- les variétés T58 et C1 peuvent produire plus de 500 kg/ha et près de 250 kg/ha respectivement.

Ces travaux sont poursuivis également au Brésil.

L'ILCA d'Addis Abeba et le CIAT (CALI) possèdent des catalogues importants de semences.

L'Australie est fournisseur de semences. En Côte-d'Ivoire et au Brésil d'importants efforts ont été réalisés dans la production et la commercialisation des semences.

Enfin les cultures fourragères doivent être résistantes aux maladies et parasites. L'anthracnose a complètement détruit *Stylosanthes guyanensis*.

Dans le nord Côte-d'Ivoire, l'association *Panicum maximum* (C1 ou T58) avec *Stylosanthes hamata* en parc intensif de saison des pluies, sur 1 500 ha implantés en 1984, donnent satisfaction 4 ans plus tard.

L'implantation des cultures fourragères nécessite le recours aux engins mécaniques, et un débroussaillement plus ou moins important en zone soudanienne.

L'amortissement des éléments de coût peut se calculer sur 10 ans pour le défrichement et les clôtures et sur 5 ans pour l'implantation des cultures fourragères. En 1986, ces coûts pour le nord Côte-d'Ivoire variaient entre 18 000 et 29 000 F CFA par ha.

4.1. Cultures fourragères irriguées

La culture fourragère avec irrigation d'appoint peut être préconisée pour la production de lait en conditions très intensives (expérience ORSTOM-IEMVT de Bouaké-Minankro).

Panicum maximum, écotype ORSTOM K 187 B, est désormais implanté par semis à la densité de trois kilos de graines de qualité germinative vérifiée (90 p. 100 de taux de germination par ha).

La fumure annuelle est de :

— 300 unités d'azote,

— 120 unités de phosphore,

— 250 unités de potasse.

L'azote est apporté par doses de 50 unités dont l'une, après les deux premières pâtures, sous forme de sulfate d'ammonium à 21 p. 100, puis les autres sous forme d'urée à 46 p. 100, toutes les deux pâtures.

Le phosphore est apporté à raison de 60 unités en début et fin des pluies.

L'irrigation par aspersion apporte le complément d'eau nécessaire entre les besoins évalués par évapotranspiration potentielle (ETP) et la pluviométrie relevée, surtout de décembre à mars.

L'exploitation se fait en pâture rationnée (clôture électrique avant et arrière) avec temps de repos de 30 jours, par troupeau de laitières métis Jersiais x N'Dama.

L'herbe pâturée à 30 jours de croissance présente :

— 14 p. 100 de matières sèches,

— 11 p. 100 de matières protéiques brutes,

— 34 p. 100 de cellulose,
représentant 0,54 UF par kg de matières sèches.
La productivité en 30 jours est de 4,5 à 5 t/ha/MS.
Les vaches, d'un poids moyen de 330 kg, pâturent de 40 à 50 m² par jour, avec une consommation moyenne journalière de 2,8 kg de MS/jour/100 kg de poids vif et les refus sont estimés à 17 p. 100.
La production laitière est en moyenne de 1 620 litres pour 270 jours, 6 litres en moyenne journalière, mais les animaux reçoivent 3 kg de concentré par jour au moment de la traite.
Cette technique intensive de production fourragère assure une productivité moyenne de 50 t/ha/an de MS permettant l'entretien de 4 000 kg/ha de poids vif.

Parmi les nombreux essais de cultures irriguées, citons les travaux effectués
— au centre de Melka-Wenen en Ethiopie avec des rendements supérieurs à 50 t de MS/ha pour le ***Cenchrus ciliaris*** et le ***Chloris gayana*** ;
— au centre de Sangalkam, avec le ***Panicum*** T58 et C11, les hybrides de sorgho fourragers, la luzerne inoculée en production de saison fraîche.

4.2. Principales plantes fourragères cultivées

4.2.1. GRAMINÉES

Brachiaria mutica (Forsk.) Stapf.
Origine : pantropicale en prairies aquatiques. Nombreux écotypes.
Noms vernaculaires : herbe de Para, Scotch grass.
Description : vivace, rampante à dressée, 1,50 m de haut. Biomasse : 6 t/ha de MS.
Aptitudes : alluvions inondables de région soudanienne, sols sableux périforestiers.
Mise en place : par éclats de souches et boutures de tiges en début des pluies après travail du sol au pulvériseur, ou rome-plow. Implantation par pelletées de terre, coups de talon ou cross-kill.
Utilisation : région périforestière : pâture à 6 semaines.Bas-fonds inondables : à l'exondation, surcharge pour faciliter les repousses mais les vieilles tiges lignifiées sont peu appétées; possibilités de girobroyer et de récolter pour foin et ensilage. Repousses de saison sèche pâturées à 30 jours. Rendement : jusqu'à 118 t/ha de MS - 9 000 UF.

Brachiaria ruziziensis Germain et Evrard
Origine : Afrique Centrale (jachères) — de plus en plus utilisée en Amérique, en Asie et en Afrique tropicale humide.
Nom vernaculaire : Congo grass.
Description : vivace, dressée, 1 m de haut.
Aptitudes : pluviométire supérieure à 900 mm, sols bien drainés.
Mise en place :
— par dispersion d'éclats de souche et tiges sur sol travaillé, implantation par cross-kill ou léger disquage;
— par semis à la dose de 15 kg/ha de graines fertiles (pouvoir germinatif 80 p. 100), soit au semoir (enfouissement 3 cm) ou à la volée suivi d'un passage de rouleau.

La production de graines est favorisée par l'espacement des touffes (50 cm). La première année d'implantation est pour cette raison la plus favorable à l'obtention de graines.

Utilisation : pâture avec repos de 30 jours, charge 500 kg/ha pendant la saison des pluies — foin : production 10 t/ha de MS et jusqu'à 20 t/ha en 6 coupes en climat subéquatorial (10 000 UF).

N.B. Le *Brachiaria decumbens* est une espèce à aptitude comparable ayant l'avantage de produire des stolons occupant bien le sol.

Cenchrus ciliaris L.

Origine : régions tropicales semi-arides, surtout l'Afrique de l'Est. Nombreux écotypes.

Noms vernaculaires : African foxtail, Bunch grass.

Description : vivace, dressée, 80 cm de haut; biomasse : 2 à 6 t/ha de MS.

Aptitudes : sols sablo-limoneux profonds en particulier pour l'installation des prairies en fin de cycle de culture.

Mise en place : éclats de souche ou semis à la dose de 5 kg/ha de semences préalablement triturées au pilon avec un mélange de sable, sur sol labouré et suivi d'un hersage léger et d'un roulage.

La faculté germinative des semences est accrue en 2e année surtout avec une longue exposition au soleil.

Utilisation : pâture, foin - rendement 3 à 6 tonnes de MS/ha.

Cynodon dactylon (L. Pers.)

Origine : Pantropicale et alluvions humides.

Noms vernaculaires : chiendent, Bermuda grass.

Description : vivace à rhizomes, fournit un gazon dense; 70 cm de haut.

Aptitudes : région périforestière.

Mise en place : (espèce sensible aux viroses nécessitant une quarantaine avant introduction dans un pays). Eclats de souches et rhizomes — 1 m d'écartement (plante agressive utilisable contre l'érosion).

Utilisation : surtout pâture avec repos de 30 jours. Foin : rendement : 5 à 10 t/ha de MS. Particulièrement apprécié aux Antilles.

Cynodon nlemfuensis Vanderyst souvent appelé à tort **Cynodon plectostachyus** K. Schum. Pilg.

Origine : Afrique de l'Est sur colluvions limono-sableuses.

Nom vernaculaire : star grass.

Description : vivace, à stolons hauteur : 1 m.

Aptitudes : sols alluviaux et colluviaux des régions soudaniennes et périforestières, plante anti-érosive sur sols riches.

Mise en place : par boutures et éclats de souche à espacement de 50 cm.

Utilisation : pâture, foin, ensilage, parcs à volailles. Rendement de 7 à 15 t/ha de MS.

Echinochloa stagnina (Retz.) Beauv.

Origine : Prairies aquatiques pantropicales à sol limono-argileux.

Noms vernaculaires : Bourgou, Gamarawal (peul).

Description : vivace, flottant puis prostrée, supporte une inondation de plus de 2 m d'eau avec faible courant. Biomasse :17 t/ha de MS dont 13 t immergées.

Aptitudes : bas-fonds soudaniens à inondation temporaire sur sols limono-argileux (demande un maintien de la nappe phréatique à un niveau haut). Irrigation sous climat tropical sec.

Mise en place : éclats de souches en début des pluies avant inondation et plantation de petites innovations feuillées sur stolons à la décrue.

Utilisation : pâture, après exondation, de la production de saison des pluies (peu de refus) et des repousses. Possibilités de faucardage en saison des pluies (couper à 10 cm au-dessus de l'eau à la descente des eaux). Irrigation : pâture ou fauchage pour distribution à l'auge, avec temps de repos de 30 à 60 jours. Rendement : 30 à 50 t/ha de MS.

Panicum maximum Jacq.

Origine : régions périforestières, forestières. Nombreux écotypes.

Noms vernaculaires : herbe de Guinée, Buffles's grass.

Description : vivace, dressée, 3 m de haut.

Aptitude : sols lourds, sols argileux, limoneux et limono-sableux, zones forestières et sud-soudanienne avec les variétés récentes.

Mise en place :

— éclats de souches (40 cm x 40 cm) — Traitement à l'aldrine éventuel ;
— de préférence par semis de 2 kg/ha à 4 kg/ha avec un taux de germination de 80 p. 100, variétés recommandées en zones soudaniennes T58 et C1.

Utilisation : pâture avec un temps de repos de 30 j — foin. Rendement : zone tropicale humide 20 t, zones subhumides : 6 à 10 tonnes. Cultures irriguées par aspersion en saison sèche — Rendement pouvant atteindre 50 t/ha avec un temps de repos de 20 à 25 j — charge moyenne atteignant 4,5 tonnes/ha, charges instantanées 45 tonnes, fumure N 300, P 120, K 250.

Pennisetum purpureum Schumach

Origine : régions forestières et périforestières subéquatoriales. Nombreux écotypes et cultivars : var. merckeri Lecke, à collet rouge, kizozi,etc.

Noms vernaculaires : napier, herbe à éléphant.

Description : vivace, dressée, 4 à 6 m de haut.

Aptitudes : sols argilo-sableux périforestiers ; bordure humide des bas-fonds sablo-limoneux de zone soudanienne et guinéenne.

Mise en place : boutures à 3 yeux de tiges aoûtées, espacement 50 cm (pour pâture) à 1 m (pour coupe). Peut s'associer à une légumineuse ; la plantation se fait alors dans une culture de ***Pueraria phaseoloides*** (Kudzu) semée depuis 3 mois.

Utilisation : éventuellement pâture : en zone préforestière, temps de repos de 30 jours. Fourrage en vert à l'auge: coupe tous les 2 à 3 mois. Ensilage : coupe à 3-4 mois, avec l'association Napier x Kudzu. Rendement : jusqu'à 80 t/ha de MS.

Tripsacum laxum Trin.

Origine : Amérique Centrale

Nom vernaculaire : herbe du Guatemala.

Description : vivace dressée : 1 à 4 m de haut ; feuilles rubannées larges, rapport feuilles/tiges important.

Aptitudes : sols limono-sablonneux périforestiers et forestiers : bordure de

bas-fonds zone soudanienne, mais sensible à l'engorgement prolongé. Souvent utilisé sous plantation arborée, pour fauche périodique et mulching en région subéquatoriale.

Mise en place : par boutures à 3 yeux de tiges aoûtées, le plus souvent sur billons ; à 1 m d'écartement — éclat de souche. Espèce productive mais exigeante; fertilisation fractionnée en 2 à 4 apports. Par an : 250 unités d'azote et de potasse, 150 unité de phosphore.

Toutefois est utilisé au Burundi sans fumure sur sol latéritique de 800 m à 2 100 m d'altitude.

Utilisation : ensilage, fourrage vert distribué à l'auge, coupe tous les 2 mois environ. Rendement jusqu'à 200 t/ha fourrage vert.

4.2.2 LÉGUMINEUSES

Pueraria phaseoloides (Roxb.) Benth.

Origine : Aside du Sud-Est.

Noms vernaculaires : Kudzu tropical, puero.

Description : papilionacée vivace, volubile, feuilles trifolioles.

Aptitudes : plante de couverture à possibilités fourragères en climat subéquatorial; adaptée aux bordures de bas-fonds de région soudanienne (enracinement profond).

Mise en place : par semis à la volée à la dose de 6 à 15 kg/ha sur sol préparé ou en poquets à écartement de 50 cm (5 kg de graines à l'ha). Couvert du sol progressif (3 à 4 mois) et plante très agressive vis-à-vis des adventices.

Utilisation : pâture différée de saison sèche, de préférence avec forte charge instantanée ; possibilité de fanage sur perroquets. Rendement 5 à 10 t/ha de MS avec 0,7 UF/kg de MS et 85 à 100 g de matières azotées digestibles.

Stylosanthes guyanensis (Aubl.) Sw. = Stylosanthes gracilis H.B.K.

Origine : Amérique tropicale.

Noms vernaculaires : luzerne tropicale, luzerne du Brésil.

Description : papilionacée vivace, érigée à tendance prostrée, subligneuse à la base (les bourgeons dormants sont localisés aux parties herbacées, d'où la nécessité de faucher assez haut pour assurer une régénération).

Caractère particulier : cette légumineuse a sans doute été la plante la plus cultivée en zone soudano guinéenne et soudanienne.

A subi de très importants dégâts dûs à l'antrachnose, ce qui limite son intérêt actuel.

Stylosanthes hamata (L.) Taub.

Origine : Antilles.

Description : papilionacée vivace érigée, mais pouvant avoir un comportement d'annuelle en cas de contraintes élevées (surpâturage, sécheresse) — La variété cultivée est le cv. verano.

Aptitudes : tous les sols lui conviennent, y compris les terrains très sableux — en climat tropical humide et sub-humide (900 à 1600 mm). Moins productif que le **S. guianensis** il lui est préféré aujourd'hui pour sa résistance à l'anthracnose et sa remarquable aptitude à se ressemer naturellement, ce qui lui permet de se maintenir en cas de surpâturage, de feu et de sécheresse.

Mise en place : semis à la dose de 5 kg/ha (3 kg en association).

Le *Stylosanthes hamata* résiste assez bien aux adventices. Il convient parfaitement dans le cas d'une association avec une graminée (*Panicum maximum*). Il occupe les places laissées libres par la graminée et contribue à équilibrer et régulariser la production fourragère de l'association.

Utilisation : pâture de saison des pluies de préférence, ou toute l'année en association.

Glycina wighui syn. **G. javanica**

Origine : Malawi.

Noms vernaculaires : glycine, glycine de Malawi, Malawi glycine.

Cultivar : Cv Timarou, Cv Cooper, Cv Clarence.

Description : légumineuse volubile, feuilles trifolioles plus ou moins pubescentes sur les deux faces. Fleurs jaunes teintées de violet. Graines quadrangulaires.

Aptitudes :

- sols vivriers mais plus fertiles que les autres légumineuses tropicales — ne tolère pas l'inondation et les sols très acides.
- Résiste à de courtes gelées : dans ce cadre convient bien aux climats d'altitude.
- Pluviométrie : 750 à 1 500 mm.

Mise en place :

- Traitement des grains (scarification, eau bouillante).
- Inoculation très recommandée.
- Dose 4 à 5 kg/ha, semis en ligne au cours ou au début de la saison des pluies.

Utilisation :

- prairie permanente à pâturer, culture pure ou association avec des graminées (**Pennisetum, Panicum, Setaria, Melinis**).
- Plante de couverture.
- Très bonne valeur alimentaire et azotée.
- Production 5 à 10 t de MS/ha.

TABLEAU RÉCAPITULATIF : **PLANTES FOURRAGÈRES**

NOMS		CARACTÈRES VÉGÉTATIFS	ÉCOLOGIE	MISE EN PLACE	EXPLOI-TATION
Scientifiques	Vernaculaires				
GRAMINÉES					
Andropogon gayanus Kunth	ouaga (bambara) gamba (haoussa)	vivace dressée	Savanes pluies > 450 mm sol profond	semis (5 à 20 kg/ha) éclats souches (30 x 30 cm) (jachère fourragère)	pâture foin ensilage
Brachiaria mutica (Forsk) Stapf	herbe de Para	vivace rampante	sol sableux sub-équatorial sableux inondable	boutures (50 x 50 cm) (prairie permanente)	pâture
Brachiaria brizanthe (Hochst) Stapf	Signal grass	vivace dressée	savanes pluies > 800 mm	semis éclats de souches (prairie permanente)	pâture foin
Brachiaria ruziziensis Germain et Evrard	Congo grass	vivace dressée	savanes pluies > 700 mm	semis éclats souches (30 x 30 cm) (prairie permanente)	pâture foin
Cenchrus ciliaris L.	Buffel grass	vivace dressée	tropical - sec	semis (5 kg/ha) éclats souches (30 x 30 cm) (prairie permanente)	pâture foin
Choris gayana Kunth	Rhodes grass	vivace dressée	savanes pluies > 800 mm	semis (8 kg/ha)	pâture foin
Cynodon dactylon (L.) Pers.	chiendent Bermuda grass	vivace rampante	sub-équatorial pluies > 1200 mm	boutures (50 x 50 cm) éclats de souches (prairie permanente)	pâture (anti-érosive)
Cynodon plectos-tachyus (K. Schum) Pilger	star grass	vivace rampante	savanes pluies > 800 mm sols profonds	boutures (50 x 50 cm) éclats de souches (prairie permanente)	pâture foin

PLANTES FOURRAGÈRES (suite)

NOMS		CARACTÈRES VÉGÉTATIFS	ÉCOLOGIE	MISE EN PLACE	EXPLOI-TATION
Scientifiques	Vernaculaires				
Digitaria decumbens auct. non Stent.	Pangola grass	vivace rampante	savanes pluies > 1000 mm	boutures (50 x 50 cm) (prairie permanente)	pâture foin
Digitaria umfolozi		vivace rampante	savanes pluies > 1000 mm sol bien drainé	boutures (50 x 50 cm) (prairie permanente)	pâture foin
Echinochloa stagnina (Retz) Beauv.	bourgou gamarawal (peul)	vivace aquatique	steppes-savanes sol argileux inondable irrigable	boutures (1 x 1 m) (prairie permanente)	en vert à l'auge (faucardage) foin pâture
Hyparrhenia rufa (Nees) Stapf	yaragua (Amérique) vero (Madagascar)	vivace dressée	savanes pluies > 1000 mm alluvions (pluies : 600 à 1000 mm)	semis (5 à 10 kg/ha) (prairie permanente)	pâture foin
Melinis minutiflora Beauv.	herbe à miel molass grass	vivace dressée	savanes pluies > 1000 mm sols pauvres	semis (3 à 7 kg/ha) s'associe à *Stylosanthes* spp. (jachère fourragère)	pâture foin
Panicum antidotale Retz.	blue panic grass	vivace dressée	steppes-savanes pluies > 550 mm irrigables sols sableux	semis (5 kg/ha) (jachère fourragère)	en vert à l'auge pâture foin
Panicum maximum Jacq.	herbe de Guinée Buffle's grass	vivace dressée	savanes pluies > 1000 mm irrigables	semis (2 à 4 kg à) éclats de souches (40 cm x 40 cm)	en vert à l'auge pâture foin
Pennisetum clandestinum (Hoshst. ex. chlov.)	kikuyu	vivace rampante	savanes altitude > 900 m pluies > 1000 mm	éclats souches (50 x 50 cm) (prairie permanente) (parcs à volailles)	pâture

PLANTES FOURRAGÈRES (suite)

NOMS		CARACTÈRES VÉGÉTATIFS	ÉCOLOGIE	MISE EN PLACE	EXPLOI-TATION
Scientifiques	Vernaculaires				
Glycine javanica L	soja perenne	vivace volubile	savanes pluies > 1000 mm	semis (6 à 10 kg/ha) (prairie permanente)	pâture
Leucaena leucocephala (L.) Benth.		vivace arbustif	savanes pluies > 800 mm	semis (30 kg/ha) haie anti-érosive banque de fourrages	pâture après ra-battage en vert à l'auge
Macroptilium stropurpureus DC	siratro	vivace rampante	savanes pluies > 800 mm	semis (6 g/ha) (jachère fourragère)	pâture foin
Macroptilum lathyroldes L.	Phasey bean	bisannuelle dressée	tropical humide tropical sec (limite inondation)	semis (10 kg /ha) restauration de pâturages	pâture
Pueraria phaseoloides (Roxb.) Benth.	kudzu tropical puero	vivace volubile	savanes (pluies > 1000 mm) alluvions (pluies > 700 mm)	semis (5 kg/ha)	pâture de saison sèche foin
Stylosanthes guyanensis	luzerne du Brésil	vivace dressée	savanes (pluies > 1000 mm) 700 mm	semis (5 à 7 kg /ha) (jachère fourragère) (enrichissement savanes)	pâture de saison sèche, foin réserve sur pied
Stylosanthes hamata	Verano	annuelle dressée		semis (4 à 5 kg/ha) enrichissement steppe	pâture de saison sèche (réserve sur pied)
Vigna unguiculata (L.) Walp.	niébé, voehm, cow pea	annuelle volubile	savanes pluies (600 à 900 mm)	semis (15 à 30 kg/ha) jachère fourragère s'associe à sorgho grain	foin

PLANTES FOURRAGÈRES (suite)

NOMS		CARACTÈRES VÉGÉTATIFS	ÉCOLOGIE	MISE EN PLACE	EXPLOITATION
Scientifiques	Vernaculaires				
Pennisetum purpureum Schum.	Napier herbe à éléphant variétés nombreuses (mercker, kizozi...)	vivace dressée	savanes pluies > 1000 mm sols limoneux argileux	boutures (1 x 1 m) (ou 50 x 50 cm) haie anti-érosive banque de fourrages	en vert à l'auge ensilage pâture (résiste mal au broutage)
Setaria sphaceita (Schum.) Stapf et Hub.	golden timothy foxtail grass	vivace dressée	savanes pluies > 1000 mm	semis (10 kg/ha) éclats de souche	pâture foin
Tripsacum laxum Trin.	herbe du Guatemala	vivace dressée	savanes pluies > 1200 mm sols sableux à limoneux	éclats de souche	en vert à l'auge ensilage
LÉGUMINEUSES					
Cajanus cajan Millsp.	Ambrevade pois d'Angola piegeon pea	bisannuelle arbustif	savane pluies > 700 mm	semis (10 à 15 kg/ha) haie anti-érosive banque de fourrages	en vert à l'auge farine de feuilles pâture de saison sèche
Centrosema pubscens Benth.	Centro	vivace volubile	savanes (pluies > 1000 mm)	semis (3 à 5 kg/ha) (envahissante)	pâture
Dolichos lablab L.	dolique poids d'Egypte	annuelle à vivace volubile	Tropical sub-humide	semis (20 kg/ha) jachère fourragère	

CHAPITRE XVII

ZOOTECHNIE

I

OBSERVATIONS ZOOTECHNIQUES

1. OBSERVATIONS SUR L'ANIMAL

1.1. Identification

Pour pouvoir recueillir et utiliser des données zootechniques, quelles qu'elles soient, il est nécessaire que les animaux suivis soient identifiés individuellement. Cette identification doit être pérenne et facilement lisible.

Le tatouage (à l'intérieur d'une oreille)
Il est durable mais sa lecture en est souvent difficile. Aussi est-il souhaitable d'y adjoindre une boucle, installée sur l'autre oreille.

Le marquage au feu
— sur la joue, la cuisse ou l'avant-bras, jamais sur la croupe (fers spéciaux). C'est une solution pratique mais qui pour diverses raisons est souvent interdite ;
— ce marquage peut se faire sur la corne (mais est alors fragile et non pérenne).

Le marquage à l'azote liquide
Possible pour les animaux à robe foncée, mais peu usité en raison de la rareté de la disponibilité de l'azote liquide.

Les entailles aux oreilles
Marquage traditionnel. Très difficile à utiliser au-delà de quatre chiffres.

Les boucles
C'est maintenant le procédé le plus utilisé. Des progrès importants ont été réalisés dans la tenue et la pérennité de la numérotation.
Pour une bonne longévité, il est recommandé d'appliquer la boucle dans la partie profonde de l'oreille.
Toutefois, ce mode d'identification est relativement onéreux.

1.2. Signes de l'âge

CHEVAUX : incisives de la mâchoire inférieure

	Pinces	Mitoyennes	Coins
Dents de lait ou caduques			
Eruption	3-10 jours	30 à 40 jours	5-6 mois
Dents de remplacement			
Eruption	32 mois	42 mois	52 mois
Rasement	6 ans	7 ans	8 ans
Table ronde	9 ans	10 ans	11 ans
Nivellement ou disparition du cornet dentaire	12 ans	13 ans	14 ans
Queue d'aronde aux coins			7 et 12 ans
Table triangulaire	14 ans	15 ans	

BOVINS : incisives

L'éruption des dents adultes chez les animaux élevés en élevage extensif se fait beaucoup plus tardivement en zone tropicale qu'en zone tempérée. Phénomène dû au manque de précocité des races locales et aux conditions d'entretien pendant la saison sèche.

	Pinces	Premières mitoyennes	Deuxièmes mitoyennes	Coins
Dents de lait ou caduques				
Eruption	naissance	naissance	naissance	8 jours
Nivellement (moyennes)	12 mois	15 mois	18 mois	20 mois
Dents de remplacements				
Eruption :				
zone tropicale :				
moyennes	27 mois	34 mois	45 mois	57 mois
extrêmes	26-28	32-36	43-47	54-60
zone tempérée :				
races peu précoces	20-22	30-32	38-42	50-54
races très précoces	20	28	36	46
Nivellement (1)	7 ans	8 ans	9 ans	10 ans

(1) Le nivellement des incisives des ruminants correspond à la disparition totale de l'avale : légère éminence conique située sur la face postérieure et se terminant vers l'angle externe du bord antérieur de la dent.

OVINS ET CAPRINS : incisives

	Pinces	Premières mitoyennes	Deuxièmes mitoyennes	Coins
Dents caduques				
Eruption	5-7 jours	10-12 jours	10-15 jours	22-25 jours
Collet dégagé	7-8 mois	7-8 mois	7-8 mois	7-8 mois
Dents de remplacement				
Eruption	15-20 mois	21-25 mois	30-36 mois	42-45 mois
Ovale dégagé de la gencive	27 mois	34 mois	38-40 mois	54 mois
Nivellement (1)	5 ans 1/2	6-7 ans	7-8 ans	9 ans

(1) Le nivellement des incisives des ruminants correspond à la disparition totale de l'avale : légère éminence conique située sur la face postérieure et se terminant vers l'angle externe du bord antérieur de la dent.

PORCS : incisives et canines de la mâchoire inférieure

	Pinces	Mitoyennes	Coins	Crocs (canines)
Dents caduques				
Eruption	3-4 semaines	8 semaines	avant la naissance	
Dents de remplacement				
Eruption	12 mois	18 mois	9 mois	0 mois

CHAMEAUX OU DROMADAIRES

	Pinces	Mitoyennes	Coins
Dents caduques			
Eruption	30-40 jours	4-5 mois	8-12 mois
Rasement	15-18 mois	24-30 mois	
Dents de remplacement			
Eruption	3-5 ans	5-6 ans	6-7 ans
Rasement	8 ans	9-10 ans	11-12 ans
Table ovalaire	9-10 ans	10-11 ans	12-13 ans

OVINS ET CAPRINS : incisives (suite)

	Incisives supérieures caniniformes	Crochets (canines)		Prémolaires caniniformes
		inférieurs	supérieurs	
Dents caduques Eruption Rasement	30-36 mois	20-24 mois		
Dents de remplacement Eruption Rasement Table ovalaire	5 ans	5 ans	6 ans	6-7 ans

1.3. Étude de la croissance

Mensurations : pour les études de croissance, les observations peuvent être limitées à quelques mesures :
— poids (P) ;
— hauteur au garrot (HG) en arrière de la bosse chez les zébus ;
— périmètre thoracique (PT) pris en arrière de l'épaule ;
— distance pointe de l'épaule, pointe de la fesse (scapulo-ischiale) (LSI).
Le rythme d'observation souhaitable varie en fonction des espèces.

• Pour les bovins, l'IEMVT recommande les rythmes d'observation suivants :
— observations à la naissance ;
— jusqu'à 1 mois : 2 observations ;
— 1 à 6 mois : 3 observations (dont une très proche du sevrage) ;
par la suite une observation trimestrielle est suffisante.

• Pour les petits ruminants
— de la naissance à 3 mois : toutes les semaines ;
— de 3 à 6 mois : tous les 15 jours :
— au-delà jusqu'à 18 mois : tous les mois.

1.4. Unité bétail tropical (UBT)

Pour les calculs de charge à l'hectare en Afrique tropicale, l'animal de référence est un bovin de 250 kg qui représente une unité bétail tropical.
Valeur à attribuer à chaque espèce animale pour les calculs d'effectifs :

Bovins	entretien + déplacements	1
Moutons	entretien adulte	0,20
	jeunes en croissance	0,15
Chèvres	entretien adulte	0,20
	chèvres allaitantes	0,30-0,40
Camelins	adulte entretien	1,20 à 2
Equins	adulte entretien	1,00 à 1,20
Anes	adulte entretien	0,2 à 0,4

2. OBSERVATIONS SUR LE TROUPEAU

2.1. Les enquêtes

Les observations sur le bétail visent à déterminer la productivité globale du troupeau.

Les données peuvent être collectées par questionnaire auprès des éleveurs et observations d'une partie du troupeau. Les questionnaires doivent être clairs, précis et adaptés au futur traitement.

Divers paramètres sont essentiels à obtenir. Il est possible d'utiliser :

Des enquêtes larges : elles touchent un grand nombre d'éleveurs. Elles sont réalisées le plus rapidement possible afin d'éviter les erreurs dues aux mouvements des troupeaux ou aux variations saisonnières. Elles nécessitent l'emploi de nombreux enquêteurs.

Pour déterminer la production des troupeaux d'une région, et/ou pour évaluer l'impact d'un projet, l'IEMVT utilise une méthodologie particulière permettant l'étude de la structure des troupeaux, les taux de production et de reproduction. Cette méthode a déjà été utilisée dans de nombreux pays (Guinée, Tchad, Burkina-Faso, Cameroun, etc.) (méthodologie Planchenault).

Des enquêtes suivies et détaillées. La méthodologie a été mise au point et utilisée par Faugère au Sénégal et par Salas en Guadeloupe. Le nombre de troupeaux enquêtés est beaucoup plus faible. Il s'agit plus d'obtenir une évolution dans le temps des troupeaux que l'image d'une situation à un instant donné (cas des enquêtes larges).

Les mêmes éleveurs sont enquêtés régulièrement (2 ou 3 fois par mois). Il est possible d'évaluer l'impact des effets saisonniers ou économiques sur l'évolution et la production du troupeau. Cette méthodologie peut être utilisée pour suivre le déroulement d'un projet de développement.

2.2. Les paramètres à étudier

Définition et exemples des paramètres à étudier.

On peut les classer en deux catégories.

- **Les paramètres d'évolution**

— liés à la reproduction : la précocité, les taux de stérilité, d'avortement, de fécondité, de prolificité, taux net reproduction ;
— liés à la mortalité : taux de mortalité, de morbidité, etc. ;
— liés à l'exploitation du troupeau : immigration, émigration, taux de vente ou d'achat.

- **Les paramètres de situation**

— les effectifs ;
— la pyramide des âges, la structure par âge.

a) ***Les paramètres d'évolution***

Les paramètres de reproduction sont définis et résumés dans le tableau ci-dessous.

- **Fécondité**

Le critère le plus utilisé est le taux de fécondité qui est le nombre absolu de

naissances enregistrées au cours de l'année n rapporté à l'effectif moyen de femelles en âges de reproduire. (a) $Fz = \frac{P}{a} \times 100$.

Le taux de fécondité dépend évidemment des caractères raciaux mais il est aussi la résultante de tous les éléments du milieu : repousse saisonnière d'herbe verte contenant les facteurs de fécondité (vitamines, acides aminées, etc.), état des animaux, avortements dus aux maladies (brucellose, trypanosomoses) ou à la misère physiologique.

Pour les zébus le taux de fécondité varie de 60 à 70 p. 100. En moyenne on peut retenir 66 p. 100, ce qui correspond à la production par chaque vache adulte de deux veaux tous les trois ans.

Chez les taurins, ce taux de fécondité peut atteindre 80 p. 100 dans les meilleures conditions d'élevage traditionnel, mais cela est exceptionnel. Il est plus sage de retenir 70 p. 100 comme taux moyen.

• **Précocité**

Les âges des animaux sont définis comme en démographie humaine : de 0 à 12 mois, l'animal est âgé de 2 mois, 6 mois, 8 mois ; de 12 à 24 mois, il a 1 an ; de 24 mois à 36 mois, 2 ans ; de 36 mois à 48 mois, 3 ans, etc.

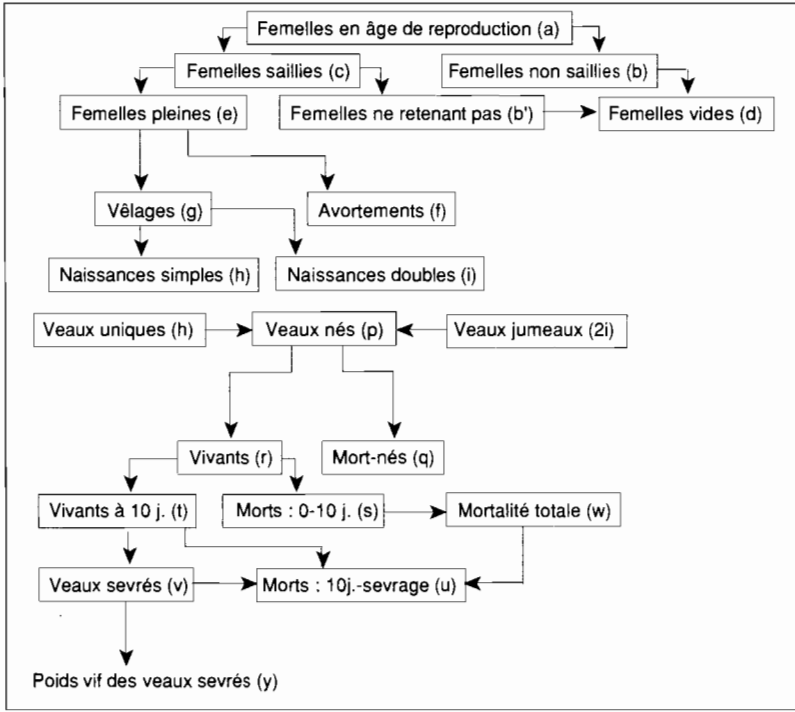
La précocité est définie par l'âge du premier vêlage. Les zébus africains sont peu précoces : les vaches ont leur premier veau parfois à trois ans (Bororo en République Centrafricaine) mais le plus souvent à quatre ans (par exemple en zone sahélienne où velles et génisses représentent quatre générations). Par contre les taurins (N'dama et Baoulé notamment) sont en général précoces : les femelles de ces races bovines commencent à vêler vers la fin de leur troisième année (classe 2 ans: 24-36 mois) et au cours de leur quatrième année (classe 3 ans : 36-48 mois).

• **Âge de réforme**

C'est le dernier paramètre intervenant dans le calcul du nombre des naissances. Il est très rare de rencontrer des vaches très âgées en Afrique ou à Madagascar, car le milieu est très sévère et les conditions de vie particulièrement éprouvantes pour les animaux reproducteurs. En général, cependant les pasteurs ne réforment les vaches qu'à la dernière extrémité lorsqu'elles ne peuvent plus suivre le troupeau. Cette attitude du pasteur est souvent critiquée, elle est pourtant parfaitement justifiée car ces vaches en fin de carrière ont une faible valeur marchande et bien souvent vellent plus régulièrement que les femelles plus jeunes (phase de la brucellose où il n'y a plus d'avortement).

En raison du manque de précocité (reproduction commençant généralement dans la quatrième année), de la faible fécondité (deux mises bas tous les 3 ans), de la forte mortalité des jeunes (souvent proche de 50 p. 100) une femelle de 10 ans, âge habituel de la réforme dans les pays tempérés, n'a, en Afrique, assuré que son propre remplacement. Il convient donc, pour améliorer la productivité des femelles, de les conserver aussi longtemps qu'elles sont capables de se reproduire car c'est à partir de l'âge de 10 ans qu'elles contribuent au croît du troupeau. En élevage extensif, il est donc souhaitable de ne réformer les vaches qu'après l'âge de 13 ans, ce qui correspond à une augmentation de moitié de leur productivité par rapport à une réforme à 10 ans. Les races locales font d'ailleurs preuve, non seulement d'une grande rusticité,

TABLEAU NORMATIF DES PARAMÈTRES CONCERNANT LA REPRODUCTION (EN MILIEU TRADITIONNEL)



Dénomination	Formules
Taux de stérilité	$\frac{d}{a}$ x 100 (d = b + b')
Taux de fertilité vraie	$\frac{e}{a}$ x 100 (e = a - d)
Taux de fertilité apparente	$\frac{g}{a}$ x 100 (g = a - d - f)
Taux d'avortement	$\frac{f}{e}$ x 100
Taux de vêlages simples	$\frac{h}{g}$ x 100
Taux de vêlages doubles	$\frac{i}{g}$ x 100
Pourcentage veaux unique	$\frac{h}{p}$ x 100 (p = h + 2i)
Pourcentage veaux jumeaux	$\frac{2i}{p}$ x 100
Taux de fécondité	$\frac{p}{a}$ x 100
Taux de prolificité	$\frac{p}{g}$ x 100
Taux de mortinatalité	$\frac{q}{p}$ x 100
Taux de mortalité périnatale	$\frac{s}{r}$ x 100
Taux de mortalité en croissance	$\frac{u}{t}$ x 100
Taux de mortalité	$\frac{w}{p}$ x 100 (w = q + s + u)
Productivité numérique	$\frac{v}{a}$ (v = p - w)
Productivité pondérale	$\frac{y}{a}$ (y = v x poids vif)

mais également d'une longévité remarquable, dont les éleveurs traditionnels savent tirer le meilleur profit.

• **Mortalité**

La mortalité est très différente selon les rangs d'âge. Elle est très forte chez les jeunes : durant la première année on peut constater la disparition de 20 à 40 p. 100 (parfois plus) du nombre des naissances. Le taux de mortalité peut encore atteindre 10 p. 100 de chaque rang d'âge des « élèves » de 1 et 2 ans, il s'abaisse souvent à moins de 3 p. 100 chez les adultes.

• **Immigration - Émigration**

Si l'on considère le troupeau d'un pays ou d'une région, il peut y avoir immigration par achats de reproducteurs au dehors de la zone considérée. Cela est assez rare.

Par contre, l'émigration est toujours importante car l'exploitation du cheptel en est la forme la plus courante, soit pour les besoins de l'autoconsommation, soit par commercialisation.

L'exploitation porte sur :

— les animaux de réforme : vaches stériles, vaches en fin de carrière ;
— les mâles : taurillons et bœufs.

• **Taux net de reproduction**

Ce paramètre est surtout utilisé en démographie humaine. Nous donnons un exemple de ce que l'on pourrait en tirer pour l'étude du troupeau.

Ce taux tient compte en fait des divers paramètres que nous venons d'analyser : précocité, fécondité et âge de la réforme, il dépend aussi de la mortalité des adultes.

Le taux net de reproduction est défini par le nombre de velles que les vaches présentes à un instant donné dans le troupeau donneront au cours de leur vie, compte tenu de la mortalité qui les frappe.

Dans le tableau suivant, nous considérons l'évolution d'une génération de femelles reproductrices (de 4 à 10 ans) issues de 1 000 velles. Le taux d'émigration des adultes est de 4 p. 100 par an (morts ou réformés) ainsi :

619 x 96 p. 100 = 595
595 x 96 p. 100 = 571, etc.

Notons que 619 représente le nombre de vaches survivantes des 1 000 velles nées quatre ans auparavant, en comptant 20 p.100 de mortalité la première année et 8 p.100 pour chacune des trois années suivantes

Ages des vaches reproductrices	Taux annuel de fécondité	Nombre de femelles survivantes sur 1000 velles nées
4 ans		619
5 ans		595
6 ans		571
7 ans	66 p.100	546
8 ans		524
9 ans		503
10 ans		483
	TOTAL	3 841

La génération de vaches aura donc donné :

$$\frac{3\,841 \times 66}{100} = 2\,535 \text{ produits, soit (la moitié) : } 1\,267 \text{ velles.}$$

Le taux de reproduction est de 1 267 / 1 000 = 1,27, ce qui peut s'exprimer ainsi :

— la génération ayant débuté à 1 000 animaux femelles sera remplacée par une autre comprenant 1 567 velles ; l'accroissement sur le temps de production de la génération (7 périodes) est donc de 27 p. 100.

L'accroissement annuel doit être déterminé en fonction de l'âge moyen des vaches par rapport aux naissances. Cet âge moyen découle des hypothèses d'équirépartition des naissances entre 4 et 10 ans, il est donc de 7 ans.

L'accroissement global de 27 p. 100 sur une période moyenne de 7,5 ans donne un taux net de reproduction annuel de 3,8 p. 100.

b) ***Les paramètres de situation***

• Structures par âge

Nous donnons ci-après deux exemples (d'après « Exploitation du cheptel bovin au Mali » par M. Lacrouts, J. Sarniguet et Tyc, S.E.A.E. chargé de la Coopération, août 1965) :

— le premier, d'un troupeau supposé stationnaire, déterminé par les facteurs suivants : âge du premier vêlage 4 ans, taux de fécondité 60 p. 100, mortalité des jeunes 30 p. 100, de 1 et 2 ans 10 p. 100, adultes 2 p. 100.

Dans cet exemple, le remplacement d'une génération par la suivante se produit régulièrement : la structure correspond à la table de survie.

— Le second est celui d'un troupeau en expansion. Les conditions du premier schéma sont maintenues, sauf la fécondité qui est portée à 66 p. 100 et la mortalité, entre 1 et 2 ans, réduite à 5 p. 100.

L'incidence de ces deux modifications est sensible car dans le second cas l'expansion est de 3 p.100 par an ; cependant la production et la composition diffèrent peu ainsi que le montre le rapprochement des données globales :

Composition en p.100 de l'effectif total :	Troupeau stationnaire et stable	Troupeau en expansion de 3 p.100 par an
Vaches	41	38
Génisses 1, 2, 3 ans	22	23
Velles	9	9,5
Mâles adultes	6	6
Taurillons 1, 2 ans	13	14
Veaux	9	9,5
TOTAL	100	100
Production annuelle théorique en p.100 de l'effectif total :		
Vaches de réforme	5,0	4,2
Femelles stériles	0,8	0,8
Mâles adultes	4,1	4,1
Taurillons	2,7	2,9
TOTAL	12,6	12

• **Évolution du troupeau**

La connaissance de la valeur du rapport :

$$\frac{\text{velles + génisses}}{\text{reproductrices}} \times 100$$

est importante pour juger de l'évolution globale du troupeau.

On a calculé que si ce rapport a une valeur supérieure à 80 le taux d'accroissement du troupeau est compris entre 3 et 4 p.100.

Dans les deux exemples précédents, on remarque que dans le troupeau en expansion, la proportion de jeunes femelles, non encore reproductrices par rapport au nombre de vaches en reproduction, est nettement plus élevée que dans le troupeau stationnaire. Ceci différencie de façon fondamentale les deux troupeaux.

Troupeau en expansion (3 p.100 environ)

$$\frac{32,5}{38} = 85,5 \text{ p.100}$$

Troupeau stationnaire

$$\frac{31}{41} = 75,6 \text{ p.100}$$

TROUPEAU TRANSHUMANT CONSIDÉRÉ COMME STABLE ET STATIONNAIRE
Structure établie pour un effectif total de 10 000 têtes

Unité : nombre d'animaux

MÂLES					ÂGE	FEMELLES				
Effectif en début d'année	Morts	Ventes ou auto-consom-mation	Effectif en fin d'année	Effectif moyen		Effectif moyen	Effectif en fin d'année	Ventes ou auto-consom-mation	Morts	Effectif en début d'année
					11	0	0	409		499
					10	509	499	10	10	519
					9	530	519	11	11	541
16	0	16	0	0	8	552	541	11	11	563
24	0	8	16	20	7	575	563	12	12	587
56	1	31	24	40	6	599	587	12	12	611
104	2	46	56	80	5	624	611	13	13	637
216	4	108	104	160	4	650	637	13	13	663
424	9	199	216	320	3	675	663	10	14	687
679	68	187	424	556	2	725	687		76	763
848	84	85	679	763	1	805	763		85	848
1 211	363		848	908	0	908	848		363	1 211
		TOTAL MÂLES		2 847		7 152		TOTAL FEMELLES		
		TOTAL GÉNÉRAL		**9 999**						

TROUPEAU TRANSHUMANT EN EXPANSION
Structure établie pour un effectif total de 10 000 têtes

Unité : nombre d'animaux

MÂLES					ÂGE	FEMELLES				
Effectif en début d'année	Morts	Ventes ou auto-consom-mation	Effectif en fin d'année	Effectif moyen		Effectif moyen	Effectif en fin d'année	Ventes ou auto-consom-mation	Morts	Effectif en début d'année
					11	0	0	426	0	426
					10	435	426	9	9	444
					9	467	458	10	9	477
11		11	0	0	8	502	492	10	10	512
21	1	10	11	16	7	539	528	11	11	550
44		22	21	32	6	580	568	12	12	592
96	2	48	46	71	5	626	613	13	13	639
206	4	103	99	152	4	672	658	14	14	686
442	9	221	212	327	3	715	708		14	722
703	35	211	457	580	2	766	746		40	786
857	43	86	728	792	1	835	814		43	857
1 261	378		883	946	0	946	883		378	1 261
		TOTAL MÂLES		2 916		7 083	TOTAL FEMELLES			
		TOTAL GÉNÉRAL		**9 999**						

II

PRODUCTIONS ANIMALES

1. LES PRODUCTIONS DE VIANDE

1.1. Généralité

La plupart des pays d'élevage extensif des zones tropicales ont en premier lieu la production de viande comme objectif.

1.2. Quelques définitions

- **Poids vif :** poids de l'animal théoriquement à jeun depuis 24 heures. Le poids se mesure directement à la bascule ou par barymétrie (voir page 13).

- **Poids vif vide :** poids vif, ci-dessus défini, diminué du poids du contenu du tube digestif et de la vessie au moment de l'éviscération. Le poids vif vide se calcule après l'abattage de l'animal.
- **Carcasse :** la carcasse est ce qui reste de l'animal après abattage, saignée, dépouillement, éviscération et enlèvement de certaines parties : tête, pieds (sectionnés à la partie centrale des carpes et des tarses), saignée (partie musculaire entourant le trou de saignée), mamelles, organes génitaux.
  Les rognons et leur graisse, la bosse (zébus), la hampe, l'onglet, la queue, restent attenants.
- **Poids de la carcasse** : la carcasse est le plus souvent pesée chaude (immédiatement après abattage). Le poids froid est déduit de la pesée chaude par application d'une réfaction théorique de 2 p. 100 pour les bovins, ovins et caprins et 2,5 p. 100 pour les porcs.
  En fait, les pertes de poids peuvent varier de 1,5 à 4 p. 100.
- **Découpe de la carcasse :** en général la découpe est la suivante :
  la carcasse donne deux demi-carcasses, la colonne vertébrale et le sternum étant fendus dans leur longueur ;
  la demi-carcasse est séparée en deux quartiers : devant et derrière entre les 10 e et 11 e côtes.
  — Cinquième quartier
  On désigne sous ce terme tous les produits d'abattage autres que les 4 quartiers (2 avants, 2 arrières).
  Il comprend :
- les abats (destinés à la consommation humaine) : foie, cœur, poumons, rate, viscères digestifs, etc.
- les issues (non destinées à la consommation humaine) : cuir, poils, crins, cornes, onglons, etc.

Le poids du 5e quartier représente, chez le zébu, environ 25 p. 100 du poids carcasse, chez les ovins et caprins 15 p. 100, chez les porcins 10 p. 100.

- **Rendement (p)**

$$\text{Rendements bruts :} \quad \frac{\text{poids carcasse}}{\text{poids vif}} \times 100$$

Quelques rendements bruts de bétail zébu (bœufs de boucherie – carcasse chaude) :

55 à 60 p.100	bétail d'embouche intensive
50 à 55 p.100	bétail d'élevage en ranching
45 à 50 p.100	bétail d'élevage traditionnel en bon état (fin de saison des pluies)
45 p.100	d'élevage traditionnel en mauvais état (fin saison sèche).

$$\text{Rendement net :} \quad \frac{\text{poids carcasse}}{\text{poids vif vide}} \times 100$$

RENDEMENT D'UNE CARCASSE DE BŒUF N'DAMA (ABATTOIR D'ABIDJAN)

DÉTAIL DES MORCEAUX	Poids après découpage	Poids des muscles consommables		Poids des os	Poids graisse	Poids des aponévroses
		à rôtir ou à griller	à bouillir ou à braiser			
1. Cuisse						
Poids total 17,920						
Jambe	3,270	—	1,620	1,440	—	0,210
2. Aloyau						
Poids total 10,170						
Filet	1,560	1,380	—	—	0,050	0,130
Faux-filet	4,060	2,600	—	1,020	—	0,440
Rumsteack avec aiguillette, baronne et araignée	4,550	2,900	0,720	0,320	0,150	0,460
3. Train de côtes						
Proprement dit	5,480	4,030	—	1,140	—	0,310
4. Plat de côtes	3,500	—	2,230	0,820	—	0,450
5. Bavette d'aloyau	4,240	0,730	2,470	0,170	0,680	0,190
6. Pis	6,020	—	4,230	1,250	0,350	0,190
7. Paleron						
Poids total 10,340	—	1,500	—	—	0,120	—
8. Collier	4,240	—	3,140	0,890	—	—
9. Queue	1,040	—	0,800	ne se désosse pas	—	0,240
10. Graisse « rognons et bourses »	1,230	—	—	—	1,230	—
TOTAL	**39,190**	**13,140**	**15,210**	**7,050**	**2,580**	**2,620**
POURCENTAGES	**100 p. 100**	**33 p. 100**	**38 p. 100**	**17 p. 100**	**6 p. 100**	**6 p. 100**
		71 p. 100				

- **Rendements au désossage :**

$$\frac{\text{poids viande}}{\text{poids carcasse}} \times 100 \qquad \frac{\text{poids os}}{\text{poids carcasse}} \times 100$$

$$\frac{\text{poids gras et déchets}}{\text{poids carcasse}} \times 100$$

Pour du bétail d'un âge déterminé, ces taux varient dans des fourchettes importantes et dépendent surtout des variations de l'état d'entretien suivant les saisons.

Les zébus du ranch d'embouche sahélienne d'Ekfrahane, Rép. du Niger (chiffres moyens portant sur plusieurs milliers de carcasses)

Rendement carcasse	51,52 p.100
Perte en frigorifique	04,00 p.100
Rendement au désossage	25,80 p.100

RENDEMENT PONDÉRAL AU DÉSOSSAGE DE ZÉBUS
Abattoir de Niamey - mai 1973

	P.V. (kg)	Poids carcas. (kg)	Rend. carcas. (p.100)	Poids os (kg)	Poids déchets (kg)	Poids viande (kg)	Viande / carcas. (p. 100)
Vache de réforme	273	122	44,6	28,8	10,3	82,9	66,6
demi bœuf		074		15,2	06,0	52,0	71,3

- **Proportions des différentes parties du bovin de boucherie par rapport au poids vif**

Carcasse	45 à 60 p.100
5e quartier	25 à 30 p.100
dont issues	14 à 17 p.100
abats	12 à 16 p.100
Contenu digestif	12 à 20 p.100

- **Prix**

Prix au kg vif : prix de l'animal vivant divisé par son poids vif.

Prix au kilogramme net : c'est le prix de l'animal divisé par le poids de la carcasse froide. C'est un prix d'achat pour l'abatteur.

Le prix de vente du kilo de carcasse peut être inférieur au prix du kilo net. Il tient compte de la conjoncture commerciale, de la valorisation du cinquième quartier, des frais d'abattage et de la marge de l'abatteur.

— Professionnels de la boucherie

- Bouchers abatteurs-détaillants : ils assurent tous les stades de la transformation et de la commercialisation de la viande, depuis l'achat de l'animal jusqu'à la vente au détail.
- Bouchers grossistes ou chevillards : ils s'occupent de l'achat de bétail, de sa transformation et de la commercialisation de la viande en gros.

- Bouchers détaillants : ils n'achètent pas de bétail eux-mêmes, mais de la viande en carcasse auprès des bouchers grossistes ou chevillards et la commercialisent au détail.
- Tripiers : sont spécialisés dans la vente au détail des abats qu'ils achètent en gros à un chevillard ou à un boucher abattant détaillant.
- Tueurs : ouvriers assurant la transformation des animaux pour le compte d'un boucher : rémunérés essentiellement en nature par la « part coutumière » consistant suivant les cas en collier, diaphragme, queue, trachée, poumons, etc.

1.3. Évaluation du poids

Barymétrie

Méthode d'estimation du poids vif à partir de mensurations prises sur l'animal vivant.

Trois formules sont possibles :

— la formule de Crevat ;
— la formule logarithmique ;
— la formule linéaire : c'est la plus simple et la plus utilisée actuellement

• **Formule de Crevat** : $P = m \times C^3$

P = poids en kg
C = périmètre thoracique exprimé en mètre
m = coefficient dépendant de l'animal

— zébu peul soudanien (Macina)

Taureaux	$73 < m < 83$
Bœufs	$70 < m < 76$
Vaches	$72 < m < 82$

— N'Dama m = 80 pour C inférieur à 1,40 m
m = 75 pour C compris entre 1,40 et 1,60 m
m = 70 pour C supérieur à 1,60 m

• **Formule logarithmique**

Poids (P) en kg en fonction du périmètre thoracique (Pth) exprimé en centimètres :

Frisonne pie noire	$P = 0{,}00036\ Pth^{2.68}$
Normande	$P = 0{,}00034\ Pth^{2.11}$
Pie rouge de l'Est	$P = 0{,}00049\ Pth^{2.60}$
N'dama mâles	$P = 0{,}00048\ Pth^{2.56}$
N'dama femelles	$P = 0{,}00037\ Pth^{2.62}$

• **Les formules linéaires**

Pour le N'Dama, on peut estimer le poids à partir du périmètre thoracique à l'aide des formules linéaires suivantes établies par D. Planchenault au Ranch de Madina-Diassa :

— bovins à dents de lait
Mâles : $P = 2{,}65\ PT - 196{,}22$
Femelles : $P = 2{,}21\ PT - 141{,}64$
— bovins adultes (dents usées)
Mâles : $Pz = 4{,}23\ PT - 378{,}43$
Femelles : $Pz = 2{,}62\ PT - 159{,}50$

PT = Périmètre thoracique exprimé en cm.

Les formules doivent être refaites en fonction du milieu et de la race. L'établissement est aisé. Il est nécessaire, toutefois, de suivre par des pesées classiques la croissance d'environ 50 bovins.

En Afrique, dans les lieux où le déplacement d'une bascule est impossible, ce type d'évaluation donne de bons résultats.

Pesée

A l'aide de peson : jusqu'à environ six mois pour les bovins africains : bascule au-delà de 6 mois.

Étalonnage obligatoire au début des opérations.

1.4. Embouche bovine

Définition - Objectifs

On entend par embouche bovine, l'engraissement, la mise en condition de certains types de bétail bovin pour la boucherie.

La rentabilité, et par conséquent l'intérêt de l'embouche dans les régions tropicales, est liée au prix de revient de la viande produite. L'écart de prix entre le poids de l'animal maigre et celui de l'animal engraissé doit être pris en considération.

Les objectifs à atteindre sont multiples :

— augmenter la production de viande bovine dans des pays qui souffrent d'une pénurie permanente de protéines d'origine animale ;
— régulariser le marché de la viande ;
— améliorer le rendement des carcasses et la qualité de la viande ;
— créer une activité nouvelle dans le secteur agricole qui en a un urgent besoin dans certaines régions ;
— valoriser des produits agricoles, des sous-produits agro-industriels, dont le tonnage augmente régulièrement dans les zones tropicales humides ;
— diminuer la charge des pâturages sahéliens par déstockage des jeunes des parcours traditionnels.

Principales techniques d'embouche

Embouche longue en ranching. Des jeunes bovins achetés à 18 mois ou 2 ans sont engraissés pendant environ 2 ans (deux saisons d'herbe).

Embouche herbagère sur pâturages naturels ou améliorés, irrigués ou non, avec distribution de compléments alimentaires, résidus agricoles ou sous-produits agro-industriels.

Embouche industrielle en feed-lot, ou atelier d'engraissement, dans laquelle l'alimentation est entièrement apportée dans l'auge. C'est une embouche en zéro grazing à partir de tous les sous-produits disponibles.

Embouche paysanne (Madagascar, Niger, etc.). Des agriculteurs engraissent quelques têtes de bétail au moyen de fourrages et de sous-produits qui proviennent de leur exploitation.

Quelques divers résultats d'embouche sont résumés dans le tableau suivant.

De façon générale, l'ensemble des essais conduits mettent en évidence :

— la supériorité des mâles entiers sur les castrés pour les performances ;
— le rôle fondamental de la durée d'embouche ;

RÉSULTATS D'EMBOUCHE

Origines	Types d'animaux	Durée	Ration de base	Complémentation	GMQ	IC	Poids final
Madagascar	Zébus Malgaches Castrés		Coques de coton Coques de coton	Tourteau de c. 2 kg Tourteau de c. 800 g + urée 200 g + mélasse 800 g	686 637	8,36 7,97	356,7 (+ 59) 349,5 (+ 54)
Cameroun	Gobra	84 j 84 j	Coques d'arachide Coques d'arachide	Farine + son + graines de coton Farine + son + tourteau de coton	948 1054	6,84 6,67	
Madagascar	Zébus Malgaches	6 mois 6 mois 3 premiers mois	Fourrage vert à l'auge (Trypsacum + Pennisetum)	Maïs + tourteau Arachide Maïs + tourteau	593 751 g	13,7	361 kg (+ 116 kg)
Madagascar	Métis 2 Brahman 2 Malgaches (16 mois)	5 mois 1/2	" "	" "	910	8,7	
Côte-d'Ivoire	Métis Zébu x N'Dama	55 j	*Panicum* (auge) Pâturage *Stylosanthes*	Manioc 6 kg + graines de coton (2 kg) + Farine de riz (3 kg) Farine de riz	750 g 311 g	9,3 —	
Côté-d'Ivoire	" "	82 j	*Panicum* (auge) Pâturage *Stylosanthes*	Manioc 6 kg + graines de coton (2 kg) + Farine de riz (3 kg) Farine de riz	593 206	11,4 —	
Sénégal	Gobra	4 mois	Coques, arachides, mélasse Coque, arachide, mélasse	Concentré 1 (tourteau 10 %) Concentré 2 (tourteau 3 % + urée)	1080 585	6,2 10,3	384 325

— le rôle de l'âge sur l'aptitude à l'embouche ;
— l'aptitude de certaines races à l'embouche.

2. LA PRODUCTION LAITIÈRE

2.1. Généralités

Répartition de la production laitière globale en fonction des diverses espèces (Sources FAO, 1986)

Espèces	Production mondiale 1 000 t	Production de l'Afrique 1 000 t	p. 100 de la production africaine	Répartition en Afrique entre espèces
Bovins	468 798	11 594	2,4	73,4
Buffles	35 478	1 350	3,8	8,5
Ovins	8 619	1 227	14	7,8
Caprins	7 692	1 634	21,2	10,3

L'Afrique qui possède 14 p. 100 du troupeau bovin mondial produit 2,4 p.100 de la production laitière.

La majorité des races n'a pas été sélectionnée en fonction d'un objectif laitier. Toutefois, la vache doit avoir suffisamment de lait pour élever son veau. Le surplus peut être consommé ou commercialisé.

Les ovins et les caprins voient leur importance relative s'accroître au fil des années.

De nombreux travaux ont été réalisés en vue de l'amélioration de la production laitière : sélection, croisements ou importation du cheptel laitier.

Toutefois, les conditions climatiques sont en général peu favorables à la production laitière.

2.2. Quelques définitions

a) Le lait

Sécrétion de la glande mammaire. Alimentation des jeunes. Composition très variable selon les espèces, les races, les années, la saison, le moment de la traite.

Définition officielle (Paris 1909). Produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum.

b) Le contrôle laitier

Il permet de déterminer la production laitière en cours des lactations successives. Il est effectué une fois par mois. La production entre deux contrôles est obtenue en multipliant la moyenne des deux contrôles par le nombre de jours séparant ces deux contrôles.

- Les taux de matières grasses et de matière azotée sont déterminés par analyse.
- La lactation totale est obtenue par addition des contrôles intermédiaires.

- La lactation de référence en pays tempérés est de 305 jours.
- En zone tropicale, elle est souvent voisine de 270 jours.

c) Production du troupeau

Il est intéressant, en particulier pour estimer le rendement économique du troupeau, de calculer la production moyenne par vache, par mois, par an, du troupeau des vaches en lactation. Le calcul se fait à partir des fiches de contrôles journaliers.

Il convient de ne pas oublier d'indiquer le nombre de vaches en lactation et le nombre total de vaches dans le troupeau, comprendre dans ce dernier nombre toutes les vaches présentes dans le troupeau et ayant déjà eu au moins un veau.

d) Lait à 4 p.100

La teneur du lait en matières grasses est généralement plus élevée dans les laits tropicaux que dans ceux des régions tempérées.

Lorsque la pratique du titrage du taux de matières grasses est possible, les résultats des contrôles laitiers sont exprimés :

— en lait tel que récolté ; et en lait à 4 p. 100, le calcul se faisant à l'aide de la formule :

$$\text{Lait à 4 p.100} = 0{,}4\ L + 15\ L \times g$$

dans laquelle L est la quantité de lait mesurée en kg, g la quantité de matière grasse au kg de lait, exprimée en kg.

Il existe des tables imprimées qui évitent les calculs.

e) Estimation de la production laitière

Il est quelquefois impossible d'effectuer un contrôle laitier régulier, en particulier lorsqu'on a affaire à des animaux élevés en ranching. Si le veau est en permanence avec sa mère, ou s'il tête matin et soir tout le lait de la mère, on peut avoir une assez bonne estimation de la production laitière en utilisant la formule suivante :

où Pn représente le poids à la naissance,
P4 celui à 4 mois,
L4 la production laitière en 4 mois, en kg :

$$L4 = 9{,}18\ (P4 - Pn)$$

Cette formule calculée pour les zones tropicales diffère légèrement de celle employée en zone tempérée où on admet qu'il faut 10 litres de lait par kg de gain de poids vif du veau.

2.3. Résultats

a) Zébus sahéliens

Production laitière du zébu sahélien sur un pâturage en élevage extensif sans alimentation de complément (C.R.Z. Sotuba (Mali))

Production en une lactation	Durée de la lactation	Durée du tarissement	Intervalle entre vêlages
480 à 600 gk	293 ± 22	180 jours si fécondation pendant la lactation	10-18 mois si fécondation pendant lactation. 19-27 mois dans le cas contraire

Variation de la production par lactation en fonction du mois de vêlage :

Mois du vêlage	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Production en 270 j (en kg)	460	449	478	506	557	560	528	535	489	575	599	476
	← saison sèche →								← saison des pluies →			

Production, en 270 jours, en fonction du numéro de lactation

N° d'ordre	1re	2e	3e	4e	5e	6e
Production	445 ± 9	477 ± 9	564 ± 14	624 ± 17	539 ± 20	537 ± 32

b) Taurins N'dama

Production laitière du N'dama, exprimée en kg

Mode d'élevage	Production au cours d'une lactation	Durée de la lactation	Durée du tarissement	Intervalle entre vêlages
Elevage extensif	500	210 à 300 j		
Elevage intensif	680 à 700	290 j	4 à 11 mois moyenne 7,5	11 à 20 mois moyenne 15

c) Croisement Jersiais-N'dama

Incidence du degré de croisement

Type d'animaux	Production moyenne pondérée	Production moyenne pondérée ramenée à 40 p.1000
F1 Jersey/N'Dama	1 133	1 495
3/4 J/N'D	1 330	1 552

Incidence du n° de lactation sur la production et la durée de lactation

	Type \ n° de lactation	1	2	3	4	5
Durée	F1	255	256	254	251	268
	3/4 J x N'D	264	291	290	—	—
Produite	F1 J x N'D	988	1174	1270	1435	1610
	3/4	1136	1132	1792	—	—

Au-delà du 1/2 sang Jersiais N'dama, la résistance au climat et aux maladies est devenue aléatoire.

L'intensification de la production laitière par croisement d'absorption connaît des limites liées à l'adaptation des animaux au milieu.

L'introduction de races étrangères à haut potentiel laitier peut être réalisée. Mais elle nécessite un contrôle parfait de l'environnement.

d) Chèvre de Maradi (d'après Robinet)

0,3 à 0,8 litre par jour pendant 100 à 120 jours en saison humide ; en saison sèche : 70 à 80 jours. Ceci représente 125 à 150 kg de lait par an, en comptant deux mises bas.

e) Chamelle (d'après Williamson et Payne)

Une bonne chamelle donne 9 litres de lait par jour au maximum de sa lactation.

Durée de la lactation : 9 mois sur pâturage pauvre, jusqu'à 18 mois si bien nourrie.

Production en une lactation : 2 800 litres.

2.4. Conditions d'installation d'un élevage laitier intensif en milieu tropical

L'installation d'un élevage laitier intensif en milieu tropical ne peut être envisagée que si certaines conditions sont impérativement assurées. Elles concernent :
— l'alimentation,
— le choix de la race,
— le logement des animaux.

L'alimentation

Les besoins alimentaires de la vache laitière sont importants aussi bien au point de vue quantitatif qu'au point de vue qualitatif.

Il sera nécessaire de s'assurer que ceux-ci peuvent être couverts avec les aliments dont on peut disposer : pâturage naturel, cultures fourragères en sec ou irriguées, aliments concentrés riches en énergie et (ou) en azote.

Dans certaines conditions écologiques particulières la constitution des réserves fourragères devra être envisagée.

L'abreuvement devra être abondant et régulier, avec une eau de qualité parfaite du point de vue hygiénique.

Le choix des races

Le bétail local a, en général, une production laitière médiocre. Il peut cependant permettre de démarrer une production laitière de type intensif en l'utilisant comme support pour une amélioration génétique par croisement avec des races hautes productrices.

Si l'environnement climatique, alimentaire, pathologique et technique est suffisamment favorable, l'introduction d'animaux de race pure pourra être envisagée d'emblée.

Le choix se portera , pour les zones chaudes et humides, sur les races de petit format (Jersiaise, Brune des Alpes) alors que dans les zones humides pas trop chaudes on pourra faire appel à des races de plus grand format (Tarentaise, Pie rouge de l'Est, Frisonne pie noire).

Logement des animaux

En dessous d'un effectif de 15 à 20 vaches, la stabulation entravée est généralement préférée, qu'elle soit permanente ou que les animaux sortent au pâturage. Au-dessus de cet effectif, la stabulation libre est plus économique en surface et en main d'œuvre.

Le choix du système dépend de la docilité des animaux, de l'expérience des éleveurs, du type génétique (plus les animaux sont proches du sang européen, moins il est souhaitable qu'ils sortent de l'étable, plus celle-ci doit être spacieuse) des finalités annexes de l'élevage (production de fumier), du contexte socio-économique.

En tout état de cause la stabulation doit avoir un sol dur, imperméable, pour permettre le nettoyage, et doté d'une pente adéquate (au moins 1,5 p.100 pour permettre l'évacuation des effluents).

Il convient de prêter une attention particulière à l'abreuvement des vaches laitières qui peut s'avérer un facteur limitant dans de nombreux cas.

Le choix du site d'implantation des étables doit enfin tenir compte des impératifs d'hygiène et de confort des exploitants. En terrain accidenté, il est souhaitable que les effluents soient évacués directement vers les cultures fourragères qu'ils fertilisent.

La mécanisation de la traite suppose la disponibilité d'énergie électrique, des pièces détachées et produits d'entretien ; elle doit être économiquement justifiée par rapport à la traite manuelle. Elle est donc essentiellement envisageable dans les élevages péri-urbains et industriels.

3. TRAVAIL ANIMAL ET CULTURE ATTELÉE

3.1. Choix des bœufs de trait

a) **Caractères morphologiques recherchés**

• pour les animaux adultes :

— animaux trapus, ramassés, à forte musculature (surtout cuisses, croupe et lombes), membres courts, puissants avec fortes articulations, pieds larges, onglons solides (noirs de préférence). Poitrine ample bien descendue.

• Pour l'emploi du joug de garrot :

— épaules solides pas trop obliques, la présence d'une bosse favorise le maintien du joug.

• Pour l'emploi du joug de tête :

— encolure puissante, courte, nuque épaisse, dépourvue de lésions cutanées, de cicatrices, tête large, cornage solide, large à la base, tourné vers l'avant et de longueur moyenne.

• Pour des animaux jeunes :

— importance et solidité de la charpente osseuse et des articulations ;
— présence de muscles sous une peau fine à poils courts et luisants.

• Animaux devant être accouplés :

Choisir deux bovins de même taille, âge et conformation.

• Eviter :
— les animaux trop volumineux sur membres grêles, à front étroit et tête longue ;
— les bœufs méchants ou mous.

b) **Sexe**

Les taureaux sont réputés peu faciles à dresser. Il faut cependant remarquer qu'en Asie, les mâles entiers (bovins et buffles) sont fréquemment utilisés pour la traction et réputés être plus puissants et endurants que les castrés. En fait, les animaux dociles, élevés au contact de l'homme dès leur plus jeune âge et constamment manipulés, n'ont pas besoin d'être castrés.

Les vaches sont utilisées dans de nombreux pays tropicaux et commencent à l'être en Afrique. Elles valorisent un complément indispensable de soins et de nourriture par une production supplémentaire de lait et de viande.

Les besoins alimentaires sont importants pour couvrir l'entretien, la lactation, la gestation ; peu compatibles avec les conditions rudimentaires d'élevage en Afrique.

Elles ne peuvent fournir un travail continu, car nécessité d'un arrêt de 1 mois en fin de gestation, début de lactation.

Bœufs : bovins les mieux adaptés au trait.

• Âge de la castration :

Entre 10 mois et 2 ans (optimum 18 mois à 2 ans). Si précoce, 7 à 8 mois : frein au développement corporel. Si tardif, après 5 ans, la castration ne fait qu'atténuer les caractères du taureau.

• Époque de la castration :

Grande importance en pays à saison sèche marquée : se fait au début de la saison des pluies (d'où choix des animaux nés avant la saison des pluies ou au début).

• Époque indifférente si la saison sèche est peu marquée ou si l'exploitation donne une alimentation complémentaire.

3.2. Dressage des bœufs de travail

3.2.1. MOMENT DU DRESSAGE

• Âge : on commence en moyenne à 3 ans 1/2 - 4 ans le dressage des bœufs. On peut parfois commencer à 2 ans 1/2 à condition de ne pas surmener les animaux et de leur assurer une alimentation convenable (ration de travail) (v. chap.. XIII. Alimentation du bétail).

• Époque : l'époque optimale à la fin de la saison sèche permet de parfaire le dressage au moment des premiers labours et des semis ; de plus, à ce moment l'alimentation est suffisante en quantité et en qualité.

Le dressage est cependant possible toute l'année si on assure l'entretien des attelages par un travail de charroi, sinon il est nécessaire de compléter le dressage avant la saison des labours.

3.2.2. TECHNIQUE DE DRESSAGE D'UNE PAIRE DE BŒUFS

a) **Phases du dressage**

Contention de l'animal seul : se fait à l'aide d'une longue corde passée au cou et d'une autre fixée à une patte arrière. Chaque corde est tenue par deux

hommes. Poursuivre la contention jusqu'à ce que l'animal soit calme et marche sans tirer sur les cordes.

Contention de la paire de bœufs : même entravement individuel. Rendre les deux animaux solidaires par une courte corde (30 cm) reliant les attaches autour du cou. Poursuivre jusqu'à obtention d'une marche normale sans corde aux pieds.

Mise sous le joug : faire marcher avec le joug seul.

Accoutumance au timon : faire traîner le timon seul.

Traction d'une légère charge brute (billot de bois).

Traction d'un outil léger : faire suivre une direction donnée et contrôler la vitesse de l'attelage.

Essai à la charrue légère :

• obliger l'attelage à suivre le sillon, d'abord avec le soc à demi enfoncé, puis en position profonde ;

• contrôler la direction ;

• obliger les animaux à obéir à la voix.

b) **Durée du dressage**

1 mois en moyenne. Elle est fonction :

• des qualités du dresseur,

• du caractère de l'animal.

Elle est plus rapide au joug de garrot qu'au joug de nuque, mais celui-ci est souvent préféré par les paysans (comme au Sénégal) car il permet une meilleure contention des animaux.

c) **Modalités du dressage**

Centre de dressage

Le centre assure la nourriture, l'abri et les interventions sanitaires, il permet l'utilisation à plein temps des dresseurs, mais nécessite une infrastructure importante. Il faut prévoir que les nouveaux utilisateurs de la traction animale puissent venir se former au centre pendant que l'on dresse leur première paire de bœufs.

Encadrement avec encadreurs dresseurs

Permet la participation de l'agriculteur au dressage et n'impose pas une nouvelle adaptation aux animaux. Lorsque la traction animale est bien implantée comme au Sud-Mali, au Sine Saloum (Sénégal) on constate que les agriculteurs dressent eux-mêmes leurs animaux. L'encadrement soulagé du dressage doit poursuivre son appui pour permettre d'améliorer les techniques d'utilisation de la traction animale : soins aux animaux, alimentation, harnachement, logement, hygiène, etc.

3.3. Donnée statistiques

Espèces et races utilisées en Afrique tropicale francophone :

SÉNÉGAL

cheval

— variétés du Fleuve et du Sine-Saloum ;

— variétés Poney Mbayar-Mpar.

bœuf
— zébu peul sénégalais Gobra à grandes cornes ;
— taurin N'dama (souvent importé) ;
— métis taurins - zébus Djakoré.
âne
— race commune.

MALI
cheval
— cheval du Seno de Baroueli.
bœuf
— zébu peul « soudanais » à cornes courtes ;
— taurin N'dama (importé) et ses métis avec zébus.
mulet
(expérience ancienne dans la région de Bamako).

MAURITANIE
bœuf
— zébu peul Gobra à grandes cornes.

NIGER
bœuf
— zébu peul nigérien à cornes courtes ;
— zébu de l'Azaouak.
âne
— race commune.

BURKINA
bœuf
— zébu peul soudanais - nigérien à cornes courtes ;
— métis taurins - zébus Djakoré.
âne
— race commune

CÔTE D'IVOIRE
bœuf
— zébu peul soudanais ;
— taurin N'dama (sur place et importé) ;
— Baoulé (local) - métis Baoulé N'dama.

TOGO
bœuf
— taurin N'dama (importé) ;
— taurin Borgou ;
— métis N'dama-zébu ;
— métis Borgou-zébu.

BÉNIN
bœuf
— zébu peul nigérien à cornes courtes ;
— taurin N'dama (importé) ;

— Borgou ;
— Lagunaire ;
— métis Borgou-zébu ;
— métis Borgou-Lagunaire.

CENTRAFRIQUE
bœuf
— zébu M'bororo ;
— taurin Baoulé (importé).

CONGO
bœuf
— taurin N'dama (importé).

TAILLES ET POIDS DES ANIMAUX DE TRAIT

Espèces	Race	Taille (haut. au garrot) adulte en cm		Poids (kg) adulte	
		Mâle	Femelle	Mâle	Femelle
TAURINS	N'dama	105-115	105-110	250-280 max. : 325	245-280
ZEBUS	Peul	130	120	300-350 max. : 475	250-300
	Gobra	125-140	125-135	300-400 max. : 525	250-350
	Bororo	130-145	130-140	350-450 max. : 500	360-450
	Sahélien	130	123	300-400	250-300
	Malgache	125-135	120	400	300
	Ankolé	145	120	500	345
	Baroké	130	126	490	345
	Nilotique	122	108	350	255
	Angoni	125	120	560	480
	Bukedi	—	—	365	261
	Nganda	—	—	280	270
CHEVAUX	Barbe	140-148		300-450	
	Dongolaw	140-145		300-350	
	Poney	125-135			
ÂNES		0,70-1		80-100	
MULETS		1,20-1,30		200-250	
DROMA-DAIRES		1,90-2,10		500	

Note : Les mensurations, et surtout les poids, donnés ici, sont ceux d'animaux convenablement nourris.

ESTIMATION DES EFFECTIFS DE BÉTAIL UTILISÉS OU SUSCEPTIBLES D'ÊTRE UTILISÉS AU TRAIT EN AFRIQUE OCCIDENTALE FRANCOPHONE

	Sénégal	Mali	Mauritanie	Niger	Burkina	Côte-d'Ivoire	Togo	Bénin
Bœufs dressés	15000	190 000	5 500	2 000	9 370	100	80	6 400
sur Total bovins	2 440 000	4 076 000	1 400 000	2 900 000	1 900 000	650 000	240 000	800 000
Chevaux dressés	70 000	—	*	*	*	—	—	—
sur Total chevaux	216 000	160 000	16 000	210 000	90 000	1 000	3 000	6 000
Ânes dressés	20 000	—	*	150	8 500	—	—	*
sur Total ânes	200 000	429 000	200 000	370 000	170 000	1 000	2 000	1 000
Chameaux dressés	—	—	*	*	—	—	—	—
sur Total chameaux	6 000	190 000	700 000	265 000	83 000	—	—	—

(Estimation SEDES - 1973)

N.B. Le signe * correspond à une faible quantité n'ayant pu être chiffrée.

TABLEAU CONDENSÉ DES EFFECTIFS DES MATÉRIELS DE « CULTURE ATTELÉE »
ESTIMÉS EN SERVICE AU NIVEAU DES CULTIVATEURS PAR PAYS - EN 1973 (SEDES)

	Charrues	Semoirs	Houes	Motoculteurs	Charrettes
Sénégal	21 600	137 000	161 000	(1)	50 000
Mali	80 400	3 100	3 300	14 900	27 500
Mauritanie	2 700	100	1 100	60	—
Niger	950	600	1 400	1 600	1 200
Burkina	10 000	—	10 000	(1)	8 000
Côte d'Ivoire	250	—	400	(1)	400
Togo	—	—	94	—	8
Bénin	280				

(1) Pour le Sénégal, le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire, les estimations des motoculteurs sont comprises dans celles des houes.

4. LA PRODUCTION DE CUIRS ET PEAUX (Robinet)

4.1. Définitions

Cuir : dépouille d'un gros mammifère (bœuf, cheval, chameau, buffle, zébu, etc.).

Parmi les cuirs, il y a lieu de distinguer :

— les cuirs plats provenant des animaux sans bosse (taurins),

— les cuirs bossus provenant d'animaux à bosse (zébus),

Peau : dépouille soit d'un petit mammifère (mouton, chèvre, antilope, lapin, etc.), soit d'un reptile (serpent, varan, crocodile), soit d'un oiseau (autruche, etc.).

CUIR (OU PEAU) VERT(E)

Cuir ou peau tel qu'il résulte de la dépouille de l'animal et qui n'a encore subi aucun traitement conservateur.

CUIR (OU PEAU) SEC (SÈCHE)

Cuir ou peau qui a subi un traitement de conservation par séchage. Ce séchage, surtout pratiqué dans les pays tropicaux à climat chaud et sec, doit être conduit selon certaines règles et pratiqué sur barre ou sur cadre (voir ci-après).

Dans le premier cas, le cuir sec se présente plié en deux; dans le second cas, il est étalé.

CUIR (OU PEAU) SALÉ(E)

Cuir ou peau qui a subi un traitement conservateur au moyen de sel de cuisine additionné de 0,5 p.100 de fluorure de soude ou de silicofluorure de soude, de naphtaline et d'un dénaturant.

Il faut en moyenne : 10 kg de sel pour un cuir,

1 kg de sel pour une peau.

CUIR (OU PEAU) ARSENIQUÉ(E)

Cuir ou peau qui a subi, en vue de parfaire sa conservation, une immersion dans une solution de 5 p.1000 d'arséniate de soude. En imprégnant la peau, ce sel la protège contre toute attaque par les insectes dermophages et leurs larves (dermestes, anthrènes, etc.).

En pays tropicaux, cet arsenicage précède souvent le séchage et l'on obtient ce qu'on appelle des peaux de boucherie arseniquées en vert (B.A.V.).

Dans certains cas, pour les peaux collectées en brousse, là où il n'existe aucun abattoir et centre de conditionnement contrôlé, les peaux sèches peuvent être immergées , ou soumises à une pulvérisation avec la solution arsenicale : « peaux apprêtées en brousse arseniquées » (A.B.A.).

PEAU PICKELÉE

Peau qui a subi un traitement conservateur par un mélange de sel et d'acide chlorhydrique.

4.2. Principes du conditionnement

Le conditionnement est l'ensemble des opérations qui consiste à amener le cuir ou la peau verte en un produit commercialisable de bonne qualité intrinsèque et bien conservé.

Pour réaliser un bon conditionnement, il y a lieu de surveiller surtout, après l'abattage:

a) **La dépouille des animaux**

Eviter surtout les coupures (solution de continuité causée par le couteau) et les coutelures (coupure incomplète). L'emploi de couteaux à extrémité arrondie est conseillé. Il est obligatoire dans certains États (Niger, Nigeria). Eviter toute souillure de la peau (sang, excrément, etc.), la laver avant traitement.

Empoisonnement ou arsenicage

Immédiatement après la dépouille, le cuir ou la peau doit être immergé dans une solution à 3 à 5 p. 1000 d'arséniate de soude contenant au moins 20 p. 100 d'arsenic pur.

Durée du bain : { Cuir 30 minutes ; Peau 15 minutes

Protection supérieure à 1 an. Compter un litre par peau et dix litres de solution par cuir. Renouveler le bain en conséquence.

Insecticides

Bains ou pulvérisations avec suspensions insecticides à base d'HCH (Hexachlorocyclohexane en poudre contenant au moins 0,5 p. 100 de son isomère gamma) ou de DDT (Dichloro-diphényl-trichloréthane en poudre à la concentration minimale de 4 p. 100).

HCH Bain à 0,5 p. 100 au minimum
DDT Bain à 0,4 p. 100 au minimum

Protection inférieure à 3 mois.

Arsenicage des cuirs secs

Permet de protéger les dépouilles de brousse en les reverdissant 12 à 24 heures dans une solution arsenicale à 5 à 10 p. 1000.

b) **le séchage**

Aussitôt après l'empoisonnement, le cuir ou la peau doit être placé au séchoir, soit sur cadre (cuir), soit sur barre (cuir), soit sur fil (peau).

Le séchage doit avoir lieu à l'ombre ; sa durée est fonction de la saison. Il faut au minimum, en saison sèche :

48 heures pour un cuir
24 heures pour une peau

et en saison des pluies :
60 heures pour un cuir
48 heures pour une peau
(durées en usage au Niger).

c) **le stockage et l'emballage**
Les prédateurs sont nombreux :
— Dermestes.
— Nécrobies.
— Mites. Anthragènes, etc.
Sols et parquets seront fréquemment vérifiés et désinsectisés par un produit approprié (DDT, HCH, etc.).

4.3. Principaux défauts des cuirs et peaux en milieu tropical

a) **Défauts acquis sur l'animal vivant**
Une peau saine est le gage d'un produit fini de bonne qualité.
Les affections cutanées qui causent le plus de dégâts aux peaux sont la gale, la **streptothricose** chez les bovins, et surtout la **démodécie**. Cette dernière maladie est caractérisée par l'apparition sur le côté chair de la peau de points blancs. Ces points, qui sont de petits abcès bourrés de démodex et d'une matière graisseuse, se transformeront en trous après le tannage.
Les marques au feu sont à prohiber sur le corps des animaux vivants, la cicatrice restant apparente après tannage. Elles peuvent être effectuées sur la joue, la jambe ou l'avant-bras.

b) **Défauts acquis lors du conditionnement**
coupure : entaille faite par le couteau de dépouille ;
coutelure : entaille incomplète qui a pour conséquence une diminution de l'épaisseur de la peau, dite baisse ;
échauffe : début de putréfaction causé par un mauvais séchage (sur le sol en particulier), ou mise au séchoir trop tardive. Elle est localisée et se reconnaît :
• à l'odeur,
• aux poils qui, sur la «plaque d'échauffe», s'arrachent facilement en touffes ;
putréfaction : détérioration généralisée des protéines constituant la peau, en particulier la « fleur » ;
détérioration par les insectes : si l'arsenicage est de durée insuffisante, ou le bain trop peu concentré, ou trop ancien, l'empoisonnement est insuffisant pour éviter le développement des insectes qui rongent la peau.

4.4. Classement des cuirs et peaux : ses bases

Le classement est à la base de toute opération commerciale et sert, en particulier, à la détermination du prix. Il est effectué selon plusieurs critères : le choix, le poids, la préparation, la race, la provenance.

a) **Le choix**
C'est la base la plus subjective, la plus controversée du classement. Ce n'est que par une longue pratique qu'on acquiert l'habitude d'opérer la classification en choix.

On distingue en général 4 choix et les rejets.

Ce classement tient compte de la texture de la peau ou du cuir, de sa finesse, des différents défauts que l'on peut y rencontrer ainsi que de leur localisation.

Rejets : peau impropre au tannage, nombreux défauts lésant toute la surface, ou putréfiée.

b) **Le poids**

• Poids moyen des cuirs secs :

Le poids moyen des cuirs varie avec le type de bétail et la saison. Le premier chiffre est la moyenne nationale, le second celui de l'abattoir de la capitale (animaux adultes) :

Afrique de l'Ouest, zone sahélienne :
— Sénégal : 5,5 kg ; Dakar : 6 kg ;
— Mali : 5 kg ; Bamako : 7 kg ;
— Niger : 5,5 kg ; Niamey : 6,5 kg ;
— Cameroun Nord : 6 kg ;
— Nigéria du Nord : 5,9 kg ;
— Tchad : 7 kg ; N'Djamena : 7,5 kg ;
— Burkina : 4,8 kg ; Bobo-Dioulasso : 7 kg. Ouagadougou : 6 kg.

Afrique de l'Ouest, zone côtière :
— Côte d'Ivoire : taurin, 3 à 4 kg ;
— Côte d'Ivoire : zébu, 6 kg ;
— Nigéria du Sud : 7 kg ;
— Cameroun du Sud : 7 kg.

Afrique de l'Est :
— Ethiopie : 5 kg ;
— Kenya : 4,65 kg
— Ouganda : 5,5 kg ;
— Tanzanie : 4 kg.

Afrique du Sud : 8,7 kg.

• Poids moyen des peaux sèches

	Mouton	Chèvre
Sénégal	0,600-0,800 kg	0,500 kg
Mali	0,750-0,850 kg	0,500-0,600 kg
Niger	0,700-0,800 kg	0,400-0,450 kg
Tchad	0,900 kg	0,600 kg
Nigéria :		
— rousse Sokoto		0,410 kg
— rousse Kano		0,460 kg
— blanche Kano		0,430 kg
République Afrique du Sud :		
— type ganterie	1,400 kg	
— type à laine	2,000 kg	

c) **Le mode de préparation**
On distingue au Niger :
B.A.V. : boucherie arseniqué en vert,
B.S.A. : boucherie arseniqué en sec,
A.B.A. : apprêté brousse arseniqué.

d) **La race**
Certaines races sont réputées pour la qualité de leur peau. La chèvre rousse de Maradi est classée à part et cotée davantage que son homologue bariolée ; les cuirs de bovins N'dama sans bosse, sont plus appréciés que les cuirs de zébu.

e) **La provenance**
A l'intérieur d'une même race, il existe plusieurs appellations : ainsi pour la « chèvre rousse », on distingue les provenances de :

Kano Sokoto	au Nigeria
Maradi Zinder	au Niger

4.5. Critères commerciaux

Sur le plan commercial, la qualité commence du vivant de l'animal et se poursuit tout au long de la chaîne jusqu'au tannage. Le conditionnement, la collecte, le classement en choix et catégories dès l'origine sont des critères décisifs qui font le renom ou la perte d'un pays ou d'une région. La formation d'agents qualifiés, des vétérinaires au boucher en passant par le moniteur, est un des impératifs qui engage la responsabilité des Etats et de leurs services techniques. L'équipement des marchés en unités « puits-abattoir-séchoir » et en magasins de collecte et de stockage est le second problème à résoudre quel que soit le stade de préparation (cuir brut pour l'exportation ou tannerie locale).

4.6. Les tanneries

D'une manière générale la tannerie moderne exige beaucoup de capitaux et peu de main-d'œuvre, celle-ci devant être par contre qualifiée. Pour traiter à part égales un million de peaux jusqu'aux stades « West Blue » et sur « Stains » (50 %), il faut compter 150 millions de F CFA d'investissements, l'eau et l'énergie étant amenées par la puissance publique à la porte de l'usine. Le traitement des effluents, variable selon le sites, n'est pas compris dans ce chiffre.
Pour la même activité, 50 employés dont 3 cadres sont suffisants (directeur, chef service technique, chef service entretien).

4.6.1. FORMES JURIDIQUES

Elles sont nombreuses et, dans les pays en développement, le choix relève souvent de considérations politiques. Citons :
a) Société d'Etat.
b) Société d'économie mixte, structure de moins en moins utilisée.

c) Société privée à capitaux nationaux, avec pour inconvénient une ouverture parfois difficile sur le monde extérieur.

d) Société privée nationale à capitaux mixtes locaux et étrangers, le partenaire étranger apporte sa compétence, le partenaire national ses moyens, notamment financiers. En pratique, le déséquilibre des intérêts nuit à la bonne marche de l'entreprise.

e) Société de droit national à capitaux étrangers au départ, puis mixtes après un certain temps. Meilleure formule qui maintient l'identité nationale et permet le rachat d'une partie de ce capital en fonction de l'évolution du marché et des résultats. Les statuts doivent prévoir la formation du personnel national.

4.6.2. CONTRAINTES

Elles sont nombreuses. Les plus importantes sont celles qui ont trait :

• Au *choix* du site près d'une grande ville, disposant d'une desserte routière, aérienne ou ferroviaire et près d'un grand abattoir produisant régulièrement une part substantielle des approvisionnements. De plus, cette activité est polluante, ce qui limite le choix final.

• A la *fiabilité* de structures de collecte et de conditionnement actives et indépendantes des aléas politiques (corps de techniciens ou de moniteurs du conditionnement — unités abattoirs — puits-séchoirs (PAS)), nombreuses, entretenues, surveillées par un service des industries animales. Ces structures doivent être étatiques. Une structure de conditionnement et une collecte qui périclitent signent la fin de la réputation d'une origine et d'un produit et, par voie de conséquence, l'arrêt des importations en brut ou en tanné aux meilleures conditions économiques pour le pays, ce qui n'empêche nullement le pillage des matières premières par des importateurs sans scrupules.

• A la *régularité* des approvisionnements locaux ou importés tels que produits bruts, stocks de produits chimiques, pièces de rechanges, machines, sans oublier les problèmes de devises et de licences. La fourniture d'eau et d'énergie doit rester prioritaire et peut faire renoncer à l'investissement en cas d'incertitude de prix trop élevés ou instables.

• *Autres contraintes.* Elles ne sont pas différentes de tout investissement industriel et commercial (qualités professionnelles, fiscalité, emprunts, trésorerie et fonds propres, respect, réciprocité des contrats entre client et fournisseur, suivi de la qualité et de la réputation d'une origine et d'une fabrication, respect des lois sociales, etc.). Cependant, étant donné les fluctuations des échanges internationaux, soumis à la mode, aux effets d'une concurrence âpre et saisonnière, à une réglementation complexe qui intéresse à la fois les marchés d'importation et ceux d'exportation, il faut être attentif aux cours et bien informé en matière de formation des prix.

4.6.3. MISE EN ŒUVRE

Une mission de reconnaissance s'étant révélée positive et les partenaires connus pour leur compétence, leur sérieux et leurs moyens, le dossier de factibilité devra répondre à l'analyse classique, financière, technique et commerciale. A chaque étape, une réponse négative peut conduire à différer le projet jusqu'à la certitude d'une solution durable. A ce stade, le rôle de la puissance publique est considérable.

L'abondance d'une matière première de bonne qualité et à bas prix est une condition nécessaire mais non suffisante. La qualité doit être maintenue lorsque la demande augmente. Le bas prix n'est qu'un épisode transitoire dans l'attente d'un nouvel équilibre technique et commercial, que la tannerie a pour objet de créer et de conforter. Les conditions du marché d'exportation du brut, surtout en situation de monopole ou d'oligopole, sont fondamentalement différentes de celles du marché concurrentiel du tanné.

4.6.4. CONCLUSION - QUANTITÉ - QUALITÉ - CONFIANCE

On a coutume d'écrire que pour un pays sahélien, 50 000 cuirs bruts et 1 000 000 de peaux de petits ruminants (1/3 moutons, 2/3 chèvres) constituent une disponibilité annuelle permanente en dessous de laquelle la rentabilité n'est pas garantie, étant donné les lourdes charges de production et les exigences de la clientèle. Le classement devra aussi respecter certains seuils de qualité car les frais d'approche, de fabrication et de commercialisation (non seulement la matière première, mais tous les intrants qui concourent à sa transformation) sont identiques, que le produit fini soit destiné à une collection de mode ou qu'il « tombe à la colle » en fin de processus.

D'où l'impérieuse nécessité de créer un climat de confiance réciproque entre tous les partenaires, climat dans lequel la tradition — qui n'est pas l'immobilisme — et le niveau élevé du suivi technique et commercial sont les deux éléments majeurs de la réputation et du prix d'une origine, au stade du brut, et d'une fabrication au stade du fini.

5. LA FERTILISATION ORGANIQUE

L'intérêt agronomique d'un apport de matière organique pour améliorer la structure du sol, la capacité de rétention en eau et la fertilité des sols ne sont plus à démontrer.

Toutefois, la connaissance des apports des défections animales se caractérise par une extrême variabilité qui tient à :

— l'animal,

— la ration utilisée par l'animal,

— la forme sous laquelle est conservée cette défection.

5.1. Estimation des quantités de fèces émises

Lamine Sonko (CRA de Djibelor — Méthodes des recherches sur les systèmes d'élevage en Afrique intertropicale) propose de calculer les quantités de fèces émises par parcelle d'après la formule suivante, pour les ruminants :

$$p = 2{,}5.10^{-3}\ Is \times ENp \times fp \quad \text{(en kg MS fèces)}$$

avec :

— Is = index saisonnier d'émission fécale (en g. de MS de fèces émises par 100 kg de poids vif et par 24 h). Cet index varie selon la saison. Les données obtenues sur N'Dama sont les suivantes (2) :

I = 855 g. en saison des pluies

= 955 g. en saison sèche chaude et 1 060 g. en saison sèche fraîche,

— ENp = effectif normalisé pour la période p
— fp = durée du parcage effectif, en jours $fp = \frac{Hs}{24} \times Dp$, avec :
  • Dp = durée totale du parcage (en jours)
  • Hs = durée moyenne quotidienne de séjour des animaux au parc à la saison s (ce paramètre varie avec la saison, selon la conduite).

Les quantités de matière organique excrétée par les herbivores, rapportées au poids métabolique (poids vif à la puissance 0,75) dépendent du type d'animal, de la saison mais aussi du mode d'entretien comme le montre la figure 2 ci-dessous. Ces variations sont liées aux quantités intégrées et à leur composition.

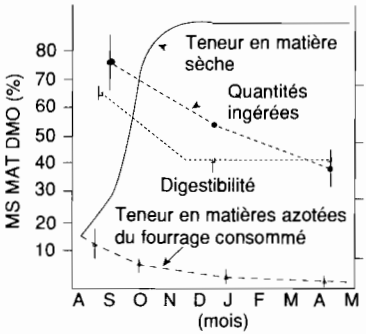


Fig. 1

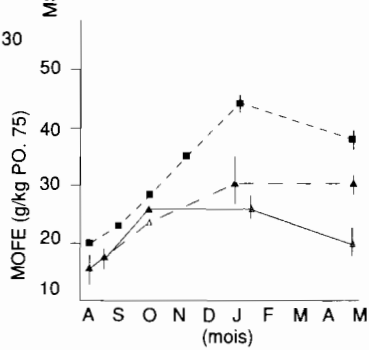


Fig. 2

Fig. 1 – Moyennes mensuelles ou saisonnières de la composition (MS : — ; MAT :), de la digestibilité (DMO : ❑) et des quantités ingérées (MSVI : ●) du fourrage fauché et distribué à des moutons en cages.

Fig. 2 – Quantité de matière organique fécale excrétée (MOFE) par des moutons en cages ( ), des moutons (▲) et des bovins (■) au pâturage à Doli.

(2e journée de l'alimentation et de la nutrition des herbivores, INRA, 1986).

La liaison entre la matière sèche fécale excrétée et la matière sèche volontairement ingérée est nettement mise en évidence par l'équation suivante :

$$MSVI = MSFE \times \frac{100}{100 - dMS}$$

MSVI : quantité de matière sèche volontairement ingérée
MSFE : quantité de matière sèche fécale excrétée
dMS : digestibilité du régime.

5.2. Le fumier : composition et production

Concernant les animaux de traction, la question a bien été étudiée en station : HAMON (1972) a montré au CNRA de Bambey qu'il est possible de fabriquer un fumier de qualité. Une tonne de ce fumier frais (à 45 p. 100 de MS) restitue au sol :

5,33 kg d'azote.
1,85 kg de P_2O_5
6,56 kg de K_2O
2,87 kg de MgO
4,39 kg de CaO

L'U.B.T. (Unité Bovin Tropical ou standard correspondant à un bovin de référence de 250 kg) est susceptible de produire environ 13 kg de ce fumier par jour, soit environ 5 tonnes par an, dans des conditions optimales de récupération des fèces et des urines.

Il faut rappeler que ces 5 tonnes de fumier (à 45 p. 100 de matière sèche) correspondent à environ :
— 2 250 kg de matière sèche de fumier
— dont environ 1 000 kg de matière fécale sèche par UBT et par an.

Le stockage sur fumure entraîne une perte d'éléments fertilisants. L'importance des pertes est liée à la quantité de litière. En M.S., elles passent de 12 p. 100 avec 2 kg de litière à 40 p. 100 avec 5 ou 6 kg de paille. En élément fertilisant, elles peuvent atteindre 37 p. 100 en M.O., 17 p. 100 en N, 11 p. 100 en K_2O et 36 p. 100 en C lorsque la quantité de paille est de 6 kg.

La fertilisation classique de fumier est assez contraignante en milieu tropical ; il faut notamment humidifier le mélange d'éléments végétaux et d'excréments animaux, en saison sèche.

5.3. Les lisiers

Exemple de composition :

1. COMPOSITION DU LISIER SELON L'ORIGINE (CROWLEY, 1973)

	Matière sèche (p. 100)	N (p. 100)	P_2O_5	K_2O
		p. 100 de la matière sèche		
Vache lait.	10,0	4,0	1,1	1,7
Porc	14,4	5,6	2,5	1,4
Volaille	30,0	6,9	4,6	2,1

2. INFLUENCE DU MODE D'ÉLEVAGE SUR LA COMPOSITION DES DÉJECTIONS DE VOLAILLE

(p. 100 de produit brut)

	Matière sèche (p. 100)	N	P_2O_5	K_2O
Pondeuses en batterie	22,2	1,05	0,82	0,51
Pondeuses sur litière	75,1	2,27	1,07	1,70
Poulets en batterie	26,0	1,64	0,94	0,64
Poulets sur litière	63,1	2,00	1,91	1,88

5.4. La poudrette de parc

• C'est une source de matière organique importante.

• Elle a une teneur en matière sèche importante (souvent supérieure à 45 p. 100.

En Côte-d'Ivoire, Bertaudière a estimé à 495 tonnes la production pour 169 bovins.

III

REPRODUCTION

1. GÉNÉRALITÉS

1.1. Détermination du nombre de femelles en âge de reproduire (femelles reproductrices)

Cette détermination est des plus délicate puisqu'elle détermine l'évaluation du taux de fertilité et du taux de fécondité. Dans le cas des suivis d'élevage, il est possible d'avoir une bonne approximation à partir des âges à la première mise bas observée. La généralisation des résultats obtenus nécessite toutefois une durée d'observation longue, parfois non compatible avec les nécessités du développement. Dans le cas des enquêtes larges, l'effectif des femelles n'ayant jamais mis bas est plus difficile à cerner, l'évaluation de l'âge à la première mise bas se fait à partir des femelles ayant eu au moins une mise bas. Une correction en fonction du nombre de femelles stériles ou non pubères, devra être apportée, afin de ne pas sous-évaluer l'effectif des femelles en âge de reproduire.

En élevage traditionnel, la limite minimale de cet âge est estimée suivant les différentes races de zébus et de taurins dans les classes d'âge 2-3 ans ou 3-4 ans et la zone climatique dans laquelle elles vivent. La limite maximale est 12 ans (limite pratique observée. La limite physiologique est beaucoup plus élevée : 18-20 ans).

Dans un centre d'élevage on fixe l'âge minimal de mise à la reproduction et on peut prendre comme nombre de femelles en âge de reproduire la moyenne arithmétique de l'effectif au 1er janvier et de l'effectif au 31 décembre, ou encore mieux, la moyenne des recensements mensuels.

1.2. Détermination du nombre de femelles pleines

Dans un centre d'élevage on peut utiliser le critère du non retour en chaleur à 60/90 jours après la saillie. Dans ces conditions, le taux de fertilité vraie est de l'ordre de 57 à 60 p. 100.

Le taux est également intéressant à considérer à 6 semaines après la saillie, il est de l'ordre de 70 p. 100.

Une différence entre ces deux taux supérieure à 15 p. 100 indique une mortalité embryonnaire anormale dont la cause est à rechercher.

2. LES PARAMÈTRES DE REPRODUCTION

Ces paramètres font l'objet du tableau des pages 43 et 45. La plupart des taux sont clairement définis. Deux taux méritent d'être précisés.

2.1. Taux de fécondité

On peut effectuer une approche du taux de fécondité d'un troupeau en milieu traditionnel, à partir du recensement par classe d'âge en supposant déterminé le taux de mortalité de la classe 0-1 an.

L'effectif (0-1 an) recensé à une époque donnée est compris entre le nombre réel des naissances, que l'on recherche, et le nombre des survivants à 1 an, sans pour autant être la moyenne arithmétique de ces deux chiffres, en raison du fait que la mortalité des jeunes est nettement plus importante dans les premiers mois et non répartie également sur les 12 mois de la première année de vie.

Par exemple, pour une mortalité annuelle (0-1 an) estimée à 40 p. 100, on retient que le nombre (0-1 an) recensé représente 70 p. 100 des naissances réelles, en admettant qu'à ce moment 30 p. 100 des mortalités ont déjà eu lieu.

Le taux de fécondité (T.F.) peut encore se calculer en utilisant, dans un centre d'élevage par exemple, l'intervalle moyen (I.M.) entre les mises bas, exprimé en jours. Ce taux est légèrement surestimé car il ne tient pas compte des femelles stériles.

$$T.F. = \frac{365}{I.M.} \times 100$$

2.2. Taux d'insémination première féconde

$$\frac{\text{Nombre de non retour en chaleur à 60/90 jours}}{\text{Nombre de vaches ayant reçu une première insémination}} \times 100$$

Il est admis (Mauleon) que le test de non retour, pour juger si une vache est pleine, comporte les pourcentages d'erreurs suivants :

Non retour à 25 jours	pourcentage d'erreurs	25 p. 100
Non retour à 40 jours	pourcentage d'erreurs	15 p. 100
Non retour à 60 jours	pourcentage d'erreurs	8 p. 100
Non retour à 90 jours	pourcentage d'erreurs	2 p. 100

3. NORMES DE REPRODUCTION CHEZ LES MÂLES

ÂGE DE REPRODUCTION

Espèce	Âge de la puberté	Âge optimal de mise à la reproduction
chameau		5 ans
étalon		4 ans
taureau	18 mois	3 ans
bélier	6-8 mois	18 mois
bouc	6-8 mois	18 mois
verrat	6 mois	10-12 mois
lapin	7-9 mois	1 an
coq	4-5 mois	à partir de 6 mois

NOMBRE DE FEMELLES POUR UN MÂLE

Chameau	40 chamelles
Etalon	50-80 juments
Taureau	30-50 vaches
Bélier	70-80 brebis
Bouc	70-80 chèvres
Verrat	30-40 truies
Baudet	70-80 ânesses
Lapin	10 lapines
Coq	8-10 poules
Dindon	15-20 dindes
Jars	6 oies
Canard	6 canes

CASTRATION

— CHAMEAUX

Les mâles reconnus impropres à la reproduction sont castrés très tôt chez les Touareg, plus tard chez les Arabes (4 à 5 ans). La castration se fait à testicule couvert, après incision du scrotum, par torsion du cordon jusqu'à rupture.

— TAUREAUX

Dans les régions où l'élevage se fait sur le mode extensif, castration dès que l'animal a passé la crise du sevrage et s'est adapté au nouveau mode d'alimentation (4 mois après sevrage) suivant les régions 11 à 15 mois — castration sanglante ou mieux à la pince Burdizzo.

Pour les bœufs de trait, castrer entre 2 ans et 3 ans, employer de préférence la pince à castrer Burdizzo.

— BÉLIERS, BOUCS

La castration se fait à la pince ou par bistournage, à l'âge de 3-4 mois.

— VERRATS

La castration sanglante se fait à un mois et demi - deux mois par ablation chirurgicale.

4. NORMES DE REPRODUCTION CHEZ LES FEMELLES

4.1. Comportement sexuel des femelles

— JUMENT

- Type sexuel à caractère saisonnier.
- Puberté plus précoce qu'en zone tempérée : 7e, 8e mois.
- Les saillies se font du début au milieu de l'hivernage.
- Durée de l'œstrus : 6 jours.
- Interœstrus : 15-16 jours.
- Durée de gestation : 331-334 jours (extrêmes observés au Sénégal 314-348).
- Retour des chaleurs après la mise bas : 12e jour après poulinage.

— VACHE

- Type sexuel à caractère continu ; cependant les déficiences alimentaires très fréquentes entraînent des troubles de l'ovulation et de la nidation qui donnent une allure saisonnière aux chaleurs.

Saillie	Vêlage
Mai à septembre	février-juin 52,7 p. 100
Octobre-janvier	Juillet-octobre 19,6 p. 100
Février-avril	Novembre-janvier 27,2 p. 100

(en zone sahélienne, hémisphère Nord)

Cependant le caractère saisonnier des mises bas n'est pas constant.

- Œstrus

Les signes cliniques des chaleurs sont très discrets et fugaces chez les races tropicales (4 à 8 heures). L'écoulement muqueux et la glaire cervicale sont très réduits d'où difficulté de choisir le moment optimal pour l'insémination artificielle.

Les signes cliniques sont plus évidents chez les métisses de races européennes que chez les vaches de races tropicales.

- Durée du cycle : 23 à 23 jours - moyenne : 21.
- Durée de gestation : 240-310 jours.

— BREBIS

Sous les tropiques comme en zone tempérée, signes de chaleurs très discrets — détection par le bélier.

Deux périodes d'activité sexuelle :
• mai, juin, juillet. - Naissances : octobre, novembre, décembre.
• janvier, février - Naissances : mai, juin.
• La plus grande intensité se situe au début de la saison des pluies.
• Durée gestation : 150 jours.
• Nombreuses gestations gémellaires : 12 à 15 p.100.

— CHÈVRE
Mêmes caractéristiques , quant aux chaleurs, que la brebis.
• Durée gestation : 150 jours.
• Nombreuses gestations gémellaires : jusqu'à 25-30 p.100.
• Chez la chèvre rousse de Maradi où la sélection a été faite depuis 40 ans, et la chèvre naine guinéenne, les portées de 3 à 4 chevreaux ne sont pas rares.

— TRUIE
• Signes cliniques très nets — durée 3 jours — ovulation spontanée de type continu.
• Durée gestation : 110-130 jours (3 mois, 3 semaines, 3 jours).
• Durée du cycle : 21 jours.
• Nombre de petits par portée : 8 en moyenne.

— LAPINE
Espèce à ovulation provoquée par l'accouplement — activité sexuelle toute l'année, mais réduction sensible pendant la saison des pluies.
• Durée de gestation : 1 mois.

4.2. Détection et synchronisation des chaleurs

DÉTECTION DES CHALEURS
Cette détection revêt une importance primordiale pour le développement de l'insémination artificielle en milieu tropical.
a) **Difficulté de la détection**
— manque d'expérience de certains éleveurs ;
— discrétion et fugacité des chaleurs.

Femelles de zébus :
Œstrus durant de 6 à 8 heures, avec 67 p.100 des ovulations se produisant entre 18 h et 6 h du matin.

Femelles de taurins :
N'dama : œstrus durant 3 à 4 heures sur certaines vaches.

b) Technique de détection
— Observation des manifestations psychiques
Agitation, beuglement, saut sur les autres vaches ou acceptation du saut par une congénère ou un mâle.
— Observation des manifestations physiologiques
Modification de la viscosité et du pH des sécrétions vaginales (mesure en laboratoire) baisse de la production laitière sur la femelle en lactation.
— Utilisation de tests
• Monte par un taureau vasectomisé, à utiliser sous contrôle visuel permanent

RESUMÉ DES CARACTÉRISTIQUES DE LA VIE SEXUELLE DES FEMELLES SELON LES ESPÈCES

Espèces	Type sexuel	Epoque de saillies	Durée l'œstrus	Durée du cycle	Durée de gestation	Retour des chaleurs après mise bas
Jument	saisonnier	milieu hivernage	6 jours	20 jours environ	331-334 jours	12 jours
Vache	continu	toute l'année	quelques heures chez le zébu	20 à 23 jours	240-310 jours	40 à 50 jours
Brebis	saisonnier	début saison des pluies surtout	1-2 jours	14 à 19 jours	150 jours	
Chèvre	saisonnier	Id.	2-3 jours	15 à 20 jours	150 jours	
Truie	continu	toute l'année	3 jours	21 jours	110-130 jours	60 jours
Lapin	continu à ovulation provoquée	toute l'année		16 jours	30 jours	

sur de petits effectifs (20 vaches). Inconvénient : propagation possible de maladies vénériennes.

• Monte par un taureau dévié : avantageux car ne comporte pas de saillie.

• Marquage des vaches en chaleurs.

Ces procédés ne nécessitent pas une observation longue et permanente des sujets. A utiliser sur les effectifs importants. Si leur valeur n'en est pas très précise, ces procédés permettent de trier les femelles en chaleurs qu'un examen précis des signes psychologiques permet de reconnaître avec exactitude.

Procédé « Chinball » . Licol, adapté au taureau, muni au niveau de l'auge d'un récipient encreur, imprimant des marques parallèles sur le dos de la vache au moment du saut.

Procédé « Kamar ». Ampoule emplie d'un liquide colorant, enfermée dans une capsule plastique. Collée à la base de la crosse de la queue des femelles. Sous l'action du poids du taureau au moment du saut l'ampoule se rompt et son liquide colore les poils.

• Synchronisation des chaleurs

En aucun cas, la synchronisation des chaleurs ne peut être considérée comme un remède à l'infécondité des femelles. L'expérience montre que seules répondent à la synchronisation les femelles cyclées en bon état de santé et d'entretien.

Les indications de cette synchronisation en zone tropicale sont essentiellement liées chez les bovins aux applications de l'insémination artificielle en élevage amélioré (stations et fermes expérimentales) ou en élevage intensif laitier. Chez les ovins, elles sont applicables dans les élevages intensifs.

a) **Définition**

Technique utilisée chez les femelles de certaines espèces domestiques (vaches, brebis) pour provoquer artificiellement et à un moment bien déterminé, des chaleurs pouvant être suivies de fécondation.

Cette synchronisation permet de :

— pratiquer la monte à contre-saison pour les espèces à cycle œstral saisonnier (brebis) ;
— pratiquer l'insémination artificielle avec plus d'efficacité sur les races à chaleurs très discrètes ;
— grouper les mises bas, ce qui diminue le travail de l'éleveur en ce qui concerne le rationnement, les traitements aux jeunes ;
— établir un véritable planning de l'exploitation du cheptel.

b) **Technique**

Elle consiste à maintenir pendant presque toute la durée d'un cycle un taux sanguin suffisant de progestérone (ou d'un progestagène) puis de supprimer l'administration de ce produit : les chaleurs apparaissent spontanément dans les premiers jours qui suivent l'arrêt du traitement.

L'expérimentation conduite aux centres de recherches zootechniques nationaux de Dara (Sénégal), Wakwa (Cameroun) et Miadana (Madagascar) utilise deux traitements différents sur les vaches :

— un traitement long, pendant toute la phase lutéale du cycle de 21 jours, soit 18 jours, comprenant l'injection journalière d'un progestagène (Nilevar) plus

une hormone gonado sérique extraite du sang de jument gravide (le P.M.S.G.), qui renforce la sécrétion d'œstrogènes par le follicule ovarien, le dernier jour du traitement ;

— le même traitement durant seulement 10 jours (traitement court), la permanence du corps jaune étant abrégée par l'injection au premier jour d'un produit lutéolytique (Valérate d'œstradiol).

c) **Insémination**

Résultats

L'œstrus induit se produit dans la majorité des cas dans les 3 jours suivant la fin du traitement. Les chaleurs sont détectées à l'aide d'un taureau vasectomisé. Les vaches sont inséminées par insémination artificielle à deux reprises, 60 et 84 heures après la fin du traitement.

En cas d'insuccès, nouvelle insémination au premier retour, c'est-à-dire au premier œstrus naturel suivant l'œstrus induit.

Les résultats suivants ont été obtenus à Wakwa (Cameroun) en 1971, avec du bétail bovin zébu Foulbé de l'Adamaoua et 1/2 sang Brahman Foulbé.

83 p. 100 des vaches traitées ont présenté des signes de chaleur dans les 72 heures qui ont suivi l'arrêt du traitement. Dans le tableau ci-dessous, sont répertoriés les résultats obtenus (inséminations réussies) :

LOTS	EFFECTIF	Œstrus induit		Retour		TOTAL
		1re I.A. 60e H.	2e I.AA. 84e H.	I.A.	Monte libre	
Foulbé long	21	6	2	2	5	15
Wakwa long	20	2	3	4	5	14
Foulbé court	21	5	0	1	5	11
Wakwa court	20	4	2	4	5	15
TOTAUX	82	17	7	11	20	55
POURCENTAGE						
Fécondations / Traitements		20,7	8,5	13,4	24,8	67

IV

MODES D'ÉLEVAGE

1. ÉLEVAGES TRADITIONNELS

1.1. Élevages de type extensif

Dans les élevages traditionnels de type extensif, les troupeaux utilisent le pâturage naturel non amélioré.

Ils ne reçoivent en principe aucun complément alimentaire, si ce n'est une distribution de compléments minéraux sous forme de sel ou de pierres à lécher.

La charge à l'hectare est relativement faible.

Suivant les grandes zones climatiques, on rencontre l'élevage nomade (nomadisme ou transhumance) ou l'élevage sédentaire.

Elevage nomade et transhumant (zones saharo-sahélienne ou sahélienne)

Le nomadisme ou la transhumance ont un même but : utiliser au meilleur moment le meilleur pâturage. Ils diffèrent seulement par leur rythme.

Pour le nomadisme et la transhumance, il existe chez certaines ethnies un véritable code d'exploitation des parcours. Ce droit coutumier fait que chaque parcours est attribué à une ethnie. Les modifications d'attribution se font parfois par la force.

On admet de façon empirique qu'en zone sahélienne il faut pour un bovin au moins autant d'hectares de parcours qu'il y a de mois de saison sèche dans l'année.

A la quête du fourrage s'ajoute celle, plus impérieuse, de l'eau.

Les chameaux peuvent rester 5 à 6 jours sans boire, les moutons 3 à 4 jours, les bovins 2 à 3 jours ; en saison chaude, ces temps sont considérablement réduits.

La limite nord de l'aire du bœuf correspond à l'isohyète de 250 mm/an.

Le devenir de l'élevage nomade et, à un moindre degré, celui de l'élevage transhumant, est un problème pour tous les Gouvernements des Etats sur le territoire desquels ces modes d'élevage existent. Aucune solution de portée générale n'a été trouvée.

La sédentarisation de l'ensemble des troupeaux dans les zones à climat tropical où la pluviosité est inférieure à 600 mm est très difficile.

Le nomadisme et la transhumance heurtent un esprit soucieux d'ordre et de méthode, mais ils ont l'avantage de permettre aux animaux de consommer des fourrages poussés sur des sols de composition différente, ainsi sont évitées les carences que les éleveurs connaissent bien. Normalement, chaque année, les troupeaux sont conduits sur les « terres salées », où le sol est riche en chlorure de sodium, sulfate de sodium et de magnésium et renferme de nombreux oligo-éléments.

La dispersion des troupeaux loin des puits est un facteur prophylactique contre les maladies parasitaires externes (dues aux tabanides, aux tiques) et internes (helminthoses, piroplasmoses) car elle perturbe le cycle de reproduction de ces parasites à plusieurs hôtes.

Les améliorations du milieu, en zone de transhumance ou de nomadisme, s'est souvent faite par l'ouverture de nouveaux parcours grâce au fonçage de puits permanents. Mais par suite de conditions climatiques sévères, l'ensemble des pâturages produit moins et les nouveaux secteurs se dégradent par arrivée du bétail et par surpâturage.

Dans la plupart des cas, il faut maintenant entreprendre une réhabilitation des parcours qui suppose :

— la mise en réserve périodique de régions déterminées ;
— un allègement de la charge moyenne sur les parcours ;
— une restauration avec ou sans enrichissement floristique ;
— un production intensive de fourrages destinés à certaines catégories d'animaux ou à la constitution de réserves.

En tout état de cause une certaine intensification va devenir nécessaire pour la transhumance et une révision du code d'utilisation des parcours indispensable tant pour le nomadisme que pour la transhumance.

Enfin, l'organisation moderne de circuits commerciaux favorisant la vente d'animaux adultes, non finis à des structures d'embouches intensives favorise l'allègement de la charge des parcours.

Le disponible en aliments concentrés étant plus important en zone soudanienne et guinéenne, le bétail de la zone sahélienne pourrait être engraissé (fini) pendant quelques mois en stabulation libre, près des lieux d'abattage ; cette technique dite des « feed-lots » est peu utilisée en Afrique, mais l'est sur une vaste échelle dans le sud des Etats-Unis avec le bétail des ranches.

Elevage sédentaire (zone soudanienne ou guinéenne)

En zone soudanienne ou en zone guinéenne, régions de cultures vivrières ou de rente, on rencontre des cultivateurs fixés au sol, sédentaires, pratiquant traditionnellement une agriculture plus ou moins rudimentaire. Ils se constituent peu à peu des troupeaux de bœufs, de moutons par achats, échanges de leurs céréales avec les pasteurs, placement des économies. Ce sont souvent des possesseurs d'animaux plus que des éleveurs qui ne désirant pas s'occuper personnellement de leurs troupeaux, les confient à des Peuls émigrés des régions du nord. Ces gardiens salariés sont en partie rémunérés par la vente du lait qu'ils prélèvent sur une partie de l'effectif des vaches laitières. Cette pratique prive les jeunes animaux d'une partie importante du lait qui leur est absolument indispensable et entretient en permanence un état de dénutrition prononcée, cause prédisposante primordiale de l'importante mortalité constatée dans la classe d'âge 0 -1 an.

En plus de cette exploitation du lait, des abattages se font à l'occasion de fêtes, de cérémonies, et des ventes ont lieu pour la boucherie locale ou l'exportation vers un centre important de consommation.

Cette exploitation se fait parfois sans tenir compte de l'avenir zootechnique du troupeau : un taureau trop jeune ou mal conformé, mais peu dangereux à manier, fait office de reproducteur dans le troupeau.

Le développement de la culture attelée a amené les cultivateurs à découvrir l'utilité de l'élevage bovin.

Dans l'extrême sud, régions de forêts, l'élevage se réduit à la possession d'un petit bétail : chèvres et moutons de races naines, porcs, volailles qui vivent le plus souvent en se nourrissant des détritus qu'ils trouvent à proximité des villages.

L'amélioration de l'élevage traditionnel dans les zones sédentaires est envisageable par l'intégration de cultures fourragères dans l'assolement lorsque les précipitations dépassent 1 000 mm/an, par la constitution de réserves fourragères pour la mauvaise saison, par l'utilisation de fumier pour les cultures vivrières et par l'amélioration génétique du cheptel.

L'exemple des parcs clôturés de cultures fourragères du nord de la Côte-d'Ivoire destinés à l'alimentation du troupeau en saison des pluies et retournant au bout de quelques années à la culture pluviale est particulièrement intéressant à suivre.

C'est au cours de la saison des pluies que la divagation du bétail cause des dégâts aux cultures.

En saison sèche, le bétail peut utiliser les résidus de culture des surfaces cultivées.

1.2. Elevages de type intensif

Les élevages traditionnels de type intensif sont représentés par certaines techniques d'embouches réalisées dans plusieurs pays tropicaux.

Embouche bovine fermière à Madagascar (boeuf de fosse)

Embouche se pratiquant depuis très longtemps sur les plateaux malgaches par des riziculteurs Merina et Betsileo ne disposant que de faibles surfaces de terre.

Le bœuf, âgé de 5 à 8 ans, est maintenu en stabulation permanente, enfermé dans une fosse étroite creusée dans le sol.

Toute l'alimentation est apportée à l'auge : herbes (repousses de riz, pailles de riz, feuilles de patates) et tubercules (manioc frais).

Cette production a concerné 18 000 bœufs par an dans l'Imerina (durée 6 mois, GMQ : 510 g, gain de poids 100 kg, I.C., 12 UF/kg) et donnait des carcasses d'excellente qualité de 200 à 300 kg.

On retrouve une technique d'embouche un peu identique dans le nord du Cameroun.

Embouche paysanne ovine (mouton de case)

Le mouton de race peule, par exemple, castré, entretenu comme un animal de compagnie, nourri à satiété avec les déchets de cuisine peut atteindre 100 kg. Sacrifié à l'occasion des grandes fêtes religieuses, il donne une viande d'excellente qualité.

2. ÉLEVAGES AMÉLIORÉS

2.1. Elevage fermier intensif

Dans l'élevage intensif les animaux sont entretenus soit sur des pâturages artificiels ou naturels améliorés, soit en claustration plus ou moins permanente.

Ils reçoivent dans tous les cas une alimentation suffisante en quantité et équilibrée en qualité pour extérioriser toutes les qualités potentielles de leur génotype.

Elevage en stabulation libre : se pratique dans une étable ouverte sur un ou plusieurs enclos dans lesquels les animaux en liberté ont à leur disposition :

1) une aire d'exercice non couverte ;
2) une aire de couchage couverte et éventuellement paillée ;
3) une aire d'alimentation couverte non paillée, nettoyée fréquemment au jet d'eau si possible.

Ces deux dernières aires, souvent confondues, peuvent être abritées sous un bâtiment type hangar fermé ou ouvert, auquel est parfois adjointe une étable de traite.

La technique de la stabulation libre est valable pour les diverses productions bovines : lait et surtout viande dans les régions tropicales. Cependant, dans ces régions, on doit prendre en considération des facteurs limitants :
— difficulté d'avoir à sa disposition une paille abondante (problème de transport) ;
— nécessité d'avoir la main-d'œuvre suffisante sur l'exploitation pour assurer l'affouragement, le paillage des animaux, le nettoyage des installations.

2.2. Elevage en ranching

2.2.1. DÉFINITION - TYPES DE RANCHES

Le ranching est une technique d'élevage dans laquelle les troupeaux sont entretenus sur une étendue de pâturages avec un minimum de gardiennage, c'est-à-dire sur le mode extensif en utilisant d'une façon rationnelle la végétation naturelle.

Aux États-Unis, on désigne sous le nom de ranch l'établissement qui pratique cet élevage, le range étant l'étendue des pâturages dont le ranch constitue l'unité d'exploitation.

Les vocables correspondants sont les suivants :
— ranch : U.S.A.
— estancia : Argentine
— fazenda : Brésil (exploitation agricole)
— station : Territoires français du Pacifique
— veld : Afrique du Sud

La répartition géographique des zones de ranching montre qu'elles sont situées dans les régions où la végétation est du type savane ou steppe (voir définition chapitre *Alimentation du bétail*).

Les ranches se sont développés au XIX^{e} siècle et au début du XX^{e} siècle en Amérique du Nord, du Sud, Australie, Nouvelle-Zélande, Mexique, Brésil, Uruguay.

En Afrique tropicale, le ranch ne s'est pas développé comme une méthode autochtone d'élevage, c'est un système d'importation qu'on essaie d'adapter aux conditions locales. Les zones propices au ranching sont celles à climat sahélo-soudanien utilisant en majorité du bétail de type zébu.

Quelques ranches ont été implantés dans les zones à climat tropical guinéen, ou équatorial, grâce à l'emploi du bétail taurin trypanotolérant (N'dama, Baoulé, etc.).

Types de ranches

Le ranch peut être un établissement destiné au stockage et à l'embouche des

animaux avant abattage : ranch d'embouche, ou un établissement destiné à l'élevage des jeunes et des reproducteurs : ranch d'élevage.

Les ranches d'embouche (Steer ranches) dans lesquels on achète des bouvillons produits par l'élevage traditionnel.

- Achat d'animaux mâles de 2 à 4 ans.
- Embouche courte (6 mois) moyenne (12 mois) longue (18 mois).
- Vente des animaux prêts pour la boucherie, à un poids déterminé.

Ces établissements jouent le rôle de régulateurs des saisons et de l'élevage traditionnel.

Les ranches d'élevage (cow and calf ranches) dans lesquels on entretient un troupeau reproducteur et où les veaux élevés par leur mère sont vendus, soit pour la boucherie, soit comme reproducteurs nécessaires à la diffusion de l'élevage bovin dans les régions qui en sont dépourvues ou peu pourvues (bétail trypanotolérant dans les zones à glossines).

2.2.2. CONDITIONS D'IMPLANTATION

L'implantation d'un ranch constitue une opération coûteuse, très complexe qui nécessite, au préalable, de nombreuses enquêtes et études techniques ou économiques.

Les problèmes concernant l'implantation sont variés :

- **Communications - distances à parcourir**

De nombreuses régions à ranching de la zone intertropicale sont d'accès malaisé, ce qui majore le coût des transports pour les approvisionnements et pour l'évacuation de la production (bétail sur pied, viande traitée sur place).

- **Problèmes domaniaux**

L'appropriation des pâturages nécessaires, toujours d'une surface considérable de plusieurs dizaines de milliers d'hectares, rencontre parfois l'opposition vigoureuse des populations rurales locales.

- **Débouchés locaux**

Les zones de ranching situées dans des régions de faible densité démographique ne disposent pas de débouchés locaux, l'exportation des produits à plus ou moins longue distance est une nécessité.

- **Difficultés de l'alimentation**

Le bétail élevé en ranching doit s'abreuver chaque jour : un bovin adulte consomme environ 40 litres d'eau par jour en saison sèche, la moitié en saison humide. Les points d'eau doivent, de plus, se trouver à proximité des zones de pâturage pour épargner une importante fatigue, donc un amaigrissement, au bétail.

Le bétail doit en principe se contenter du pâturage naturel non amélioré sans qu'il soit possible de confectionner des réserves fourragères ni distribuer une alimentation de complément.

- **Problèmes de pathologie**

Les zones tropicales et en particulier celles d'Afrique, sont encore des pays de grandes épizooties qui, par suite des conditions d'élevage (nomadisme) de la faune sauvage, des vecteurs (insectes, acariens, etc.) se propagent très rapidement et sévissent sur de très vastes étendues groupant parfois plusieurs pays.

D'autres maladies ou enzooties restent localisées par suite des conditions particulières nécessaires à leur transmission : c'est le cas des trypanosomiases qui nécessitent la présence de glossines insectes vecteurs dont le milieu écologique est bien défini (galeries forestières, buissons, etc.).

Une étude épidémiologique très précise doit donc précéder la décision d'implanter un ranch dans une région déterminée. Elle précisera les programmes de prophylaxie médicale (vaccinations) ou sanitaire (quarantaine) à mettre en œuvre pour assurer aux animaux la protection sanitaire indispensable.

V

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES ÉLEVAGES TROPICAUX

1. CLIMAT

1.1. Action directe

La température des animaux à sang chaud (homéothermes) reste constante entre certaines limites. L'animal, par un processus physiologique, maintient un équilibre entre la chaleur de son métabolisme, la chaleur reçue de l'ambiance et celle qu'il émet par radiation, évaporation, conduction et convection.

Lorsque l'air est sec et chaud, l'évaporation cutanée est considérable : si l'animal reçoit une ration d'eau suffisante, la température corporelle est plus facilement contrôlée que lorsque l'air est chaud et humide.

Lorsque la température et l'humidité augmentent, il y a accélération des rythmes cardiaque et respiratoire.

Pour maintenir sa température constante, l'animal réduit son activité, gagne une zone ombragée en même temps que se déclenchent les mécanismes physiologiques accélérant l'évaporation de l'eau par la peau (accélération circulation cutanée) et par les poumons (accélération rythme respiratoire).

Une partie de l'énergie de la ration est utilisée pour lutter contre la chaleur.

La production laitière sera directement influencée par la chaleur et par la plus ou moins grande disponibilité en eau.

1.1.1. RÉPARTITION DES RACES DOMESTIQUES EN ZONE INTERTROPICALE

Le climat agit de façon prépondérante sur la répartition géographique du cheptel. L'étude des climogrammes des zones de dispersion des races domestiques donne des renseignements sur leur capacité d'adaptation.

Comme la température et l'humidité agissent conjointement sur les animaux, on a établi un classement géographique des climats en utilisant les températures

moyennes mensuelles et humidités moyennes mensuelles :
— climat chaud, au-dessus de 21°C ;
— climat froid, en dessous de 21°C ;
— climat sec, en deçà de 55 p.100 H ;
— climat humide, au-delà de 55 p.100 H ;

qui, en se combinant, donnent à nouveau quatre types de climats :
— climat chaud et sec, au-dessus de 21°C, en deçà de 55 p.100 H ;
— climat chaud et humide, au-dessus de 21°C, au-delà de 55 p.100 H ;
— climat froid et sec, au-dessous de 21°C, en deçà de 55 p.100 H ;
— climat froid et humide, au-dessous de 21°C, au-delà de 55 p.100 H ;

Il a été observé :
— que l'aire de dispersion des zébus, des chevaux, des chèvres de grande taille correspond aux régions à climat chaud et sec ;
— que celle des taurins N'dama, des chèvres et des moutons de taille moyenne, correspond aux régions chaudes et moyennement humides ;
— que celle des taurins et chèvres de très petites races (Lagunes), correspond aux régions à climat chaud et très humide.

En étudiant les réactions des zébus et des taurins à des températures et humidités variables, on a trouvé que les taurins supportent plus facilement les hauts degrés hygrométriques, mais tolèrent mal les hautes températures ; les zébus supportent facilement les hautes températures et les climats secs, mais tolèrent mal les fortes humidités.

Dans leurs aires respectives, zébus et taurins ont trouvé un état d'équilibre avec le milieu.

Toutefois, le zébu s'étend de plus en plus en zone humide. Son adaptation y est assez bonne bien qu'il soit très sensible à la pathologie particulière en ces zones.

1.1.2. CHOIX DES RACES AMÉLIORATRICES

La régulation thermique étant une fonction vitale essentielle, lorsque le croisement sera choisi comme méthode d'amélioration, ne retenir que les races ayant un poil court, lisse, brillant, n'ayant pas tendance au feutrage (signe d'une bonne adaptabilité à la chaleur).

Pour juger de l'aptitude au feutrage, prélever sur la côte une petite pincée de poils, la rouler entre les paumes des mains ; si on arrive à former facilement une boulette de poil feutré, l'animal sera écarté de la reproduction, surtout si c'est un mâle (Test de Bonsma).

On ne cherchera pas à accroître à tout prix le format, ce qui entraîne une variation peu favorable du rapport surface corporelle/poids.

1.2. Action indirecte

La variation saisonnière de la qualité et de la valeur alimentaire des fourrages naturels entraîne pour les animaux une alternance de pléthore et de disette. Le premier souci d'un éleveur devra être de pallier la baisse de la valeur fourragère de la ration consommable pendant la saison sèche et éviter par là l'amaigrissement saisonnier constaté chez les animaux entretenus sur les pâturages naturels tropicaux (20 à 40 kg).

2. MALADIES

En zone tempérée, la médecine vétérinaire est une médecine de soins. On soigne l'animal malade. En zone tropicale, on applique surtout des mesures de prophylaxie collective qui visent à maintenir le troupeau en bonne santé.

Les soins à des animaux malades ne doivent être donnés que si le traitement est économique, rapidement efficace et que l'animal guéri peut reprendre sa place dans le troupeau, y supporter les conditions habituelles d'entretien sans risque pour les autres animaux (porteurs sains).

Les plans de vaccination systématique contre la peste bovine, la péripneumonie, la pasteurellose, ont diminué considérablement les pertes et permis le développement de l'élevage. **Le respect du calendrier des vaccinations est un impératif catégorique.**

Contre les maladies parasitaires, il n'existe pas de vaccins, seules des mesures d'hygiène et des traitements périodiques peuvent maintenir le cheptel en bon état. Les protocoles de traitement doivent être suivis à la lettre si on veut conserver un élevage florissant, ce qui est particulièrement vrai dans les élevages de volailles.

Maladies liées au climat

La zone tropicale humide de l'Afrique est caractérisée par l'existence des trypanosomoses auxquelles les races locales bovines, ovines, caprines et porcines ont développé une tolérance élevée. On y rencontre aussi la dermatophilose qui s'étend en outre sur une partie des zones subhumides où elle coexiste avec les tiques et les maladies transmises par les ixodes. Les bovins tropicaux des zones semi-arides et subhumides d'Afrique et d'Asie ont acquis une résistance héréditaire reconnue aux parasites externes et internes. Les maladies liées au climat ont été la cause principale des échecs de la plupart des introductions d'animaux améliorés : elles justifient que désormais en élevage traditionnel, la priorité soit donnée aux races locales, à l'amélioration de leur alimentation et de leur hygiène, et à leur sélection.

3. MILIEU HUMAIN

Le mythe de l'éleveur qui thésaurise ses animaux est à bannir des conclusions des études sur le développement de l'élevage. L'éleveur exploite réellement son troupeau dans les limites de son rendement naturellement faible.

Il semble que depuis une dizaine d'années les animaux soient vendus de plus en plus jeunes pour la boucherie.

L'homme entretient trop souvent mal ses animaux et les prélèvements de lait qu'il effectue dans le troupeau sont souvent trop importants.

Une traite trop abondante et trop précoce des mères par le berger qui veut consommer ou commercialiser le lait prive le veau. Il doit alors s'alimenter très tôt au pâturage, ce qui entraîne des accidents digestifs (entérite, pica, coliques de sable, parasitisme), les pertes atteignant parfois 40 p. 100 la première année, en particulier pendant les années où la saison sèche est sévère.

4. CHEPTEL

4.1. Production de viande en Afrique

POIDS UNITAIRES VIFS

Espèces	Poids (en kg)
Zébu	350
N'dama	280
Ovins du Sahel	35
Ovins guinéens	18-20
Porcins locaux	40-60
Caprins guinéens	35-40
Caprins du Sahel	25-30

Malgré les progrès de productivité réalisés au cours des dernières années 1977 à 1986 (+ 30 p.100 de viande, + 10 p.100 d'accroissement du cheptel bovin : source FAO), le rendement du troupeau bovin africain reste faible en comparaison du rendement européen (voir tableau ci-dessous).

— Evolution de la production de viande en Afrique entre 1963 et 1986 (annuaire de la production FAO 1986) (milliers de tonnes)

	Années	Bœuf et veau	Mouton et agneau	Porc	Total
Effectif (millions de têtes)	1986	176,9	191,8	12	
Production (1 000 de tonnes)	1963 1971 1977 1986	2090 2315 2493 3240	620 631 651 804	160 263 324 445	2870 3209 3468 4489
P.100 de la production mondiale	1986	6,7	13,1	12,9	9,7

Les rendements par races sont résumés dans le chapitre suivant.

4.2. Production de lait en Afrique

La sélection ou le croisement en vue de la production laitière sont restés secondaires en Afrique. La faible productivité du troupeau bovin africain par rapport au troupeau bovin européen est encore plus accentuée pour le lait que pour la viande.

L'étude des productions par race est réalisée dans le chapitre suivant :

— Estimation de la production totale annuelle en Afrique (annuaire de la production de la FAO)

(milliers de tonnes)

Années	Vaches	Bufflesses	Brebis	Chèvres	Total
1963	7990	756	469	1218	10433
1971	10196	1050	477	1177	12900
1977	9412	1188	558	1271	12429
1986	11594	1350	1227	1694	15805
p.100 de la production mondiale en 1986	2,4	3,8	14	21,2	3

4.3. Aviculture

Les produits de l'aviculture, viande de volailles et œufs, constituent dans les pays tropicaux l'un des marchés des produits animaux qui connaît la plus forte croissance (+ 40 p.100 de 1984 à 1986 en Afrique pour la viande).

Source FAO

Production en 1000 T	79/81	84	86
Viande de volailles	1 193	1 184	1 657
Œufs de poules	925	7 342	7 379

La part de viande de volailles dans le total viande consommée est maintenant supérieure à 21 p. 100.

L'élevage traditionnel a commencé à se moderniser. Les élevages industriels se développent à proximité des grands centres.

4.4. Production de viande par habitant (source FAO, 1986)

	Population (millions)	Toute viande (milliers de T)	Production par habitant
Mondiale	4 915	15 497	31,5
Afrique	572	7 825	13,7
Asie	2 864	38 314	13,4
URSS	280	17 726	63,3
Amérique Nord Centre	407	33 625	82,6
Amérique du Sud	273	12 028	44,1
Europe	494	41 612	84,2
Océanie	25	3 845	153,8

4.5. Récapitulation par continent des effectifs des animaux domestiques (en millions de têtes).
(Comparaison 1977-1986)

TABLEAU DE SITUATION					
Catégories	Régions	Effectif 1986 (1000 Ax)	Répartition (p. 100)	Effectif 1977 (1000 Ax)	Evolution (p. 100)
BOVINS	Monde	1 271 810	300	1 276 200	- 0,34
	Afrique	176 840	13,9	161 000	+ 8,96
	Europe	130 360	10	134 100	- 2,78
	France	22 896	1,8	23 848	- 4,16
OVINS	Monde	1 145 690	100	1 100 400	+ 3,95
	Afrique	191 746	16,7	160 000	+ 16,5
	Europe	136 027	11,8	125 000	+ 8,11
	France	10 790	0,94	11 638	
CAPRINS	Monde	492 192	100	506 800	- 2,96
	Afrique	161 535	32,8	131 000	18,9
	Europe	13 922	2,8	11 500	17,4
	France	969	0,2	1 012	
BUFFLES	Monde	138 352	100	160 200	- 15,79
	Afrique	2 600	1,8	2 200	+ 15,38
	Europe				
	France				
PORCS	Monde	822 443		872 800	
	Afrique	11 987	1,5	8 500	1,0
	Europe	179 134	21,8	160 000	18,4
	France	10 956	1,3	11 638	1,3
VOLAILLES (poules)	Monde	8 924	x millions	6 335	millions
	Afrique	772	8,6	513	8,1
	Europe	1 232	13,8	1 337	21,1
	France	188	2,1	207	3,2
TOTAL 1	Monde				
2	Afrique				
	Europe				
	France				

Récapitulation par continent des effectifs des animaux domestiques (en millions de têtes).
(Comparaison 1977-1986) (suite)

		PRODUCTION DE VIANDE				PRODUCTION DE LAIT			
Catégories	Régions	Production 1986	Répartition	Evolution 1977 (1000 T)	Evolution (p. 100)	Production 1986 (1000 T)	Répartition (p. 100)	Evolution 1977 (1000 T)	Evolution (p; 100)
BOVINS	Monde	47 486	100	1 247	2,7	468 798	100	59 706	12,7
	Afrique	3 240	6,7	747	30	11 594	2,5	2 182	18,8
	Europe	11 142	23,5	1 145	11,5	185 073	30,5	16 808	9,1
	France			258	15,6	33 700	7,2	3 600	10,7
OVINS	Monde	6 246	100	660	10,6	8 619	100	1 351	15,7
	Afrique	804	12,9	+ 153	19,1	1 227	14	669	54,5
	Europe	1 202	19,2	75	14,6	3 610	41,9	138	3,8
	France	167	2,7	25	15	1 087	12,6	195	17,9
CAPRINS	Monde	2 117	100	397	18,7	7 692	100	1 144	14,9
	Afrique	603	9,7	178	29,5	1 634	21,2	363	22,2
	Europe	82	1,3	- 10	- 12,2	1 615	21	124	7,7
	France	8	0,13	- 4	- 50	454	5,9	69	15,2
BUFFLES	Monde	1 143	100	- 164	- 14,3	35 748	100	8 313	23,2
	Afrique	150	13,1	+ 46	+ 30,6	1 350	3,8	79	5,8
	Europe								
	France								
PORCS	Monde	61 204	100	17 396	28,4				
	Afrique	445	0,7	+ 121	+ 37,3				
	Europe	20 491	33,5	3 987	19,4				
	France	1 835	3						
VOLAILLES (poules)	Monde	33 007	100	8 613	26,1	31 385	Œufs + 21	6 685	Œufs
	Afrique	1 657	5	838	50,6	1 272		497	39
	Europe	7 664	23,2	1 533	20	7 979		603	8,2
	France	1 319	4	417	31,6	925		181	19,6
TOTAL 1 2	Monde	154 974	100	28 888	18,6				
	Afrique	7 825	5	2 373	30,3				
	Europe	41 612	26,8	6 859	16,5				
	France	5 558	3,6	846	15,2				

4.6. Effectifs des animaux domestiques (source : Annuaire de la production, FAO, 1986)

(en milliers)

	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Chevaux	Mulets	Anes	Chameaux	Buffles
AFRIQUE DU NORD									
Algérie	1 557	14 795	3 090	5	120	160	475	130	-
Maroc	2 570	12 100	4 700	8	170	460	800	50	-
Tunisie	643	5 300	1 100	4	55	75	217	181	-
Libye	210	950	-	5 550	41	-	61	180	-
Egypte	2 750	2 550	2 700	56	11	1	1 900	170	2 600
AFRIQUE OCCIDENTALE									
Côte-d'Ivoire	881	1 502	1 496	450	1	-	1	-	-
Bénin	930	1 160	1 100	600	6	-	1	-	-
Gambie	290	191	200	12	-	-	4	-	-
Ghana	1 188	2 175	2 400	586	4	-	25	-	-
Guinée	1 838	464	470	49	1	-	3	-	-
Guinée Bissau	333	200	205	286	1	-	3	-	-
Burkina Faso	3 106	2 215	3 335	206	70	-	200	-	-
Liberia	43	246	243	131	41	-	61	-	-
Mali	4 676	5 500	5 500	58	62	-	550	241	-
Mauritanie	1 000	3 000	-	3 950	16	-	149	787	-
Niger	3 300	3 500	7 500	37	292	-	507	415	-
Nigeria	12 169	13 160	26 328	1 351	250	-	700	18	-
Sénégal	2 200	2 202	1 104	194	208	-	209	6	-
Sierra-Leone	333	332	175	46	-	-	-	-	-
Togo	276	850	744	288	1	-	1	-	-
AFRIQUE EQUATORIALE ET CENTRALE									
Cameroun	4 361	2 500	2 600	1 180	24	-	37	-	-
Congo	71	63	184	44	-	-	-	-	-
Zaïre	1 400	770	2 930	780	-	-	-	-	-
Gabon	8	82	62	152	-	-	-	-	-
Centrafrique	2 135	112	1 100	360	-	-	-	-	-
Soudan	22 389	15 581	-	20 600	20	1	650	2 800	-
Tchad	5 017	2 620	2 620	12	150	-	255	572	-

Effectifs des animaux domestiques (source : Annuaire de la production, FAO, 1986) (suite)

(en milliers)

	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Chevaux	Mulets	Ânes	Chameaux	Buffles
AFRIQUE DU SUD ET ORIENTALE									
Rép. Sud Africaine									
Namibie									
Angola	3 380	255	965	470	1	-	5	-	-
Lesotho	520	1 420	1 010	65	108	1	108	-	-
Botswana	2 720	210	1 000	8	24	4	143	-	-
Burundi	415	370	820	80	-	-	-	-	-
Comores	86	95	-	9	-	-	4	-	-
Ethiopie	26 300	23 550	17 280	19	1 590	1 480	3 920	1 040	-
Kenya	9 000	7 100	8 500	98	2	-	-	620	-
Malawi	930	180	690	240	-	-	1	-	-
Mozambique	1 340	116	365	150	-	-	20	-	-
Rwanda	670	343	1 005	104	-	-	-	-	-
Zimbabwe	4 800	550	1 550	170	22	1	99	-	-
Rép. de Djibouti	47	500	-	450	-	-	8	57	-
Somalie	3 800	10 100	16 200	10	1	23	25	5 800	-
Swaziland	6 200	38	315	20	2	-	15	-	-
Tanzanie	14 300	4 300	6 500	180	-	170	-	-	-
Ouganda	5 100	1 700	3 300	250	-	-	17	-	-
Zambie	2 770	46	240	214	-	-	-	-	-
Madagascar	10 485	604	1 225	1 350	2	-	-	-	-
Réunion	20	3	44	72	-	-	-	-	-
Ile Maurice	61	4	71	12	-	-	-	-	-
OCÉANIE									
Australie	23 451	155 561	509	2 553	401	-	5	-	-
Nouvelle-Zélande	8 392	71 646	380	450	100	-	-	-	-
Nouvelle-Calédonie	122	3	18	40	10	-	-	-	-
Polynésie	7	2	3	48	2	-	-	-	-

Effectifs des animaux domestiques (source : Annuaire de la production, FAO, 1986) (suite)

(en milliers)

	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Chevaux	Mulets	Ânes	Chameaux	Buffles
AMÉRIQUE CENTRALE									
Costa Rica	2 415	3	2	222	114	5	1	-	-
Cuba	6 400	380	108	2 400	718	31	4	-	-
St Domingue	4	4	6	9	-	-	-	-	-
Rép. Dominicaine	2 055	80	468	2 500	205	100	122	-	-
San Salvador	1 010	4	14	400	90	23	2	-	-
Guadeloupe	82	4	36	44	1	-	1	-	-
Guatemala	2 284	680	76	862	100	38	9	-	-
Haïti	1 400	92	1 100	700	425	84	215	-	-
Honduras	2 848	7	28	563	170	68	22	-	-
Jamaïque	290	6	430	245	4	10	23	-	-
Martinique	41	87	45	45	2	-	-	-	-
Mexique	31 123	8 419	10 000	18 631	6 135	3 130	3 183	-	-
Nicaragua	2 100	3	6	750	270	45	8	-	-
Panama	1 443	7	-	205	170	5	-	-	-
Porto Rico	583	6	7	210	21	2	2	-	-
AMÉRIQUE DU SUD									
Argentine	53 000	29 243	3 100	4 000	3 000	165	90	-	-
Bolivie	6 000	9 500	1 200	1 100	311	80	600	-	-
Brésil	128 918	18 473	9 800	33 000	5 500	2 000	1 250	-	850
Chili	3 500	5 980	600	1 130	500	10	28	-	-
Colombie	23 590	2 750	860	2 440	1 950	600	650	-	-
Equateur	3 727	1 959	280	4 986	340	115	190	-	-
Guyane Française	15	-	-	10	-	-	-	-	-
Guyane	200	120	77	180	2	-	1	-	-
Paraguay	7 151	388	123	1 403	317	13	30	-	-
Pérou	3 820	13 500	1 720	2 170	655	220	490	-	-
Surinam	63	3	5	3	-	-	-	-	-
Uruguay	9 961	24 526	12	195	500	4	1	-	-
Venezuela	12 371	422	1 340	2 852	495	72	440	-	-

Effectifs des animaux domestiques (source : Annuaire de la production, FAO, 1986) (suite)

(en milliers)

	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Chevaux	Mulets	Ânes	Chameaux	Buffles
ASIE									
Afghanistan	3 750	20 000	3 000	-	-	-	-	270	-
Arabie Saoudite	530	3 800	2 350	-	3	6	110	165	-
Bengladesh	23 200	1 110	10 722	-	44	-	-	-	1 860
Birmanie	9 981	347	1 280	3 116	119	9	-	-	2 196
Chine	66 925	94 210	61 901	338 074	11 000	4 972	10 415	530	20 038
Inde	200 000	54 460	102 870	8 700	910	132	1 001	1 100	75 010
Indonésie	6 465	5 193	12 289	5 643	702	-	-	-	2 936
Iran	8 350	34 500	13 600	-	316	123	1 800	27	230
Irak	1 550	8 800	2 400	-	53	28	450	60	150
Israël	321	232	127	130	4	2	5	10	-
Japon	4 742	26	48	11 061	23	-	-	-	-
Jordanie	35	1 100	500	-	3	3	19	14	-
Kampuchéa (Cambodge)	1 571	1	1	1 299	12	-	-	-	705
Laos	593	-	71	1 516	42	-	-	-	1 017
Liban	50	137	460	21	2	4	10	-	-
Malaisie	620	69	347	2 150	5	-	-	-	250
Népal	6 374	810	5 018	456	-	-	-	-	2 890
Pakistan	16 749	25 826	30 785	-	452	65	2 857	930	13 384
Philippines	1 814	30	2 177	7 275	300	-	-	-	2 984
Sri Lanka (Ceylan)	1 783	29	534	86	1	-	-	-	964
Syrie	750	12 500	1 075	1	45	30	198	7	2
Thaïlande	4 835	58	81	4 215	21	-	-	-	6 302
Turquie	16 200	40 400	13 100	12	620	210	1 200	3	540
Viet-Nam	2 500	20	273	13 000	130	-	-	-	2 700

4.7. Évolution de la production de viande et de lait

	AFRIQUE			AFRIQUE TROPICALE
	1950	1970	1985	1985/86
A. Production par habitant				
Viande (kg)	12,0	11,1	8,6	8,0
Lait (kg)	32,6	31,5	26,2	20,3
B. Production par animal				
Bovins et veaux (kg)	13,9	13,6	17,8	13,8
Petits ruminants (kg)	3,1	3,5	4,0	3,5
Porc (kg)	34,1	41,1	39,0	30,0
Lait de bovin (kg)	50,9	57,6	66,3	40,4
Lait de petits ruminants (kg)	7,2	6,6	8,5	8,6

Les statistiques montrent une augmentation numérique et une augmentation de la production numérique des diverses races domestiques africaines.

Toutefois, il faut souligner que cet accroissement des productions animales ne suit pas l'évolution de la croissance démographique. Il est donc important d'encourager les opérations de développement des productions animales tout particulièrement en Afrique tropicale.

VI

L'AMÉLIORATION DU CHEPTEL

L'amélioration du cheptel peut se faire en zone tropicale, comme en zone tempérée par :
— amélioration du milieu ;
— amélioration de l'animal ;
— amélioration de l'exploitation du cheptel.

1. AMÉLIORATION DU MILIEU

L'amélioration des conditions d'alimentation en élevage extensif nécessite au minimum une meilleure gestion des parcours (adaptation de la capacité de charge, réhabilitation, mise en réserves...). Par ailleurs, les animaux pour exprimer leur potentiel génétique doivent avoir à leur disposition en saison difficile les réserves suffisantes. Compte tenu de l'accroissement des troupeaux, l'intensification des ressources fourragères de qualité devient indispensable.

2. AMÉLIORATION DE L'ANIMAL

— Sélection ou croisement ?

La sélection est lente mais, partant d'une population adaptée, elle n'introduit pas de facteurs aléatoires. Elle a permis en zone tropicale d'obtenir des souches de zébus et de taurins de qualité (Azaouak, N'dama) ainsi que d'une espèce caprine : la chèvre rousse de Maradi.

Par sélection et amélioration de l'alimentation, on peut doubler la production laitière du bétail local.

Le croisement donne dès la première génération des animaux hautement améliorés mais qui ont des besoins bien supérieurs aux animaux locaux.

Si ces besoins ne sont pas couverts, l'opération se soldera par un échec, les animaux n'extériorisant pas les qualités de la race amélioratrice et ayant perdu la rusticité de la race à améliorer.

Le croisement avec des races importées suppose des conditions d'alimentation non limitantes, une hygiène rigoureuse et un programme de prophylaxie adapté.

Le croisement zébus-taurins trypanotolérant a permis aux zébus de peupler de vastes régions plus ou moins infestées de glossines.

— Résultats : croisement + alimentation rationnelle

POIDS COMPARATIFS DE QUELQUES RACES BOVINES AFRICAINES ET DE LEURS MÉTIS

	Mâles kg	Femelles kg
N'dama		
Souche Mali (1958) (36 mois) élevage traditionnel	188	188
Souche Minankro (48 mois) souche sélectionnée		
1/2 sang Jersiais x N'dama-Minankro (48 mois)		
Gobra		
Souche Dara (1968) (36 mois)	383	276
1/2 sang Gobra x Pakistanais (36 mois)	466	294
1/2 sang Gobra x Guzera (24 mois)	316	240
Azawak		
Souche Filingué (1943) (adultes)	396	270
Souche Filingué (1967) (48 mois)	422	275
Foulbé		
Souche Adamaoua (5-7 ans)	482	348
1/2 sang Foulbé x Brahman (Wakwa) (48 mois)	625	386
Zébu malgache		
Souche Kianjasoa (48 mois)	365	252
Rénitelo (Zébu x Limousin x Afrikander) (48 mois)	529	368
1/2 sang Zébu x Brahman (48 mois)	489	361

3. AMÉLIORATION DE L'EXPLOITATION DU CHEPTEL

En Afrique tropicale, on considère que les zones sahéliennes et soudaniennes sont productrices de bétail alors que la zone guinéenne, surtout par ses centres urbains importants et à pouvoir d'achat relativement élevé, est consommatrice.

Il en résulte l'existence de courants commerciaux traditionnels de bétail dont l'amélioration s'inscrit au premier chef de l'amélioration de l'exploitation du cheptel.

La commercialisation des animaux se fait généralement à un âge trop avancé : on note cependant une tendance à vendre des animaux âgés de moins de 2 ans ce qui n'est pas mieux.

Les circuits commerciaux sont trop compliqués : les marchands de bétail n'ont que rarement les moyens d'acheter des animaux au comptant, les bouchers trop nombreux sont tous endettés auprès des marchands de bétail ou des chevillards.

Les lieux de vente des viandes sont rarement équipés avec des resserres réfrigérées permettant le stockage des viandes invendues.

L'amélioration des circuits commerciaux est à envisager à trois niveaux.

a) **Au niveau des zones de production**

• Établissement de marchés régionaux en nombre limité pour pouvoir les contrôler :

— du point de vue commercial : la multiplication des petits marchés favorise la multiplication des petits revendeurs qui alourdissent le fonctionnement et contribuent à l'augmentation du prix de vente sans profit pour le producteur, qui ne reçoit pas un prix satisfaisant pour ses animaux.

— du point de vue sanitaire : l'impossibilité de surveiller une multitude de petits marchés favorise la dissémination des épizooties.

• Établissement d'abattoirs, d'usines de préparation des viandes en conserve, en semi-conserve.

b) **Au niveau des modes de transport**

• Exportation sur pied

Ce mode d'acheminement, concernant encore la plus grande partie du bétail bovin, implique l'aménagement de routes d'évacuation du bétail. Le but en est d'assurer un abreuvement quotidien le long de la route à l'aide de points d'eau distants de 20 à 30 km, et de mettre à la disposition des troupeaux des pâturages suffisants pendant tout le convoyage.

• Transports par route, fer ou avion, en voie de développement.

c) **Au niveau des zones de consommation**

• Construction de marchés à bétail de consommation régularisant les approvisionnements des abattoirs des centres importants.

• Construction d'abattoirs avec équipements frigorifiques conçus pour stocker d'importantes quantités de carcasses.

• Equipement en resserres réfrigérées des réseaux de distribution (détaillants et semi-grossistes) pour rationaliser les ventes au détail en conservant, au moins d'un jour sur l'autre, les viandes invendues.

VII

ETHNOLOGIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

Les animaux domestiques élevés dans les zones tropicales sont le fruit d'une très longue sélection naturelle dans un milieu peu favorable, où le climat est sévère, les carences, les facteurs nosologiques sont nombreux et variés ; l'homme n'a pas toujours été un facteur de progrès, la sélection a porté plus souvent sur des caractères esthétiques que sur des qualités économiques.

A - LES BOVINS

Dans les zones tropicales, il existe des zébus (*Bos indicus*), des taurins (*Bos taurus*) et des buffles (*Bubalus sp.*). Ces derniers se rencontrent surtout en Asie et en Amérique du Sud où ils ont été importés.

Les zébus, au moins en Afrique, vivent dans les zones chaudes et sèches (saharo-sahélienne — sahélienne — soudanienne), les taurins dans celles moyennement chaudes et humides (guinéennes). Dans la zone de contact entre les aires de dispersion des taurins et des zébus, il existe une population métisse non stabilisée.

Les zébus supportent bien la chaleur et les températures élevées, tolèrent mal l'humidité, sont sensibles à la peste bovine et à la péripneumonie, très sensibles aux trypanosomiases, peu sensibles aux piroplasmoses.

Les taurins autochtones supportent mal la sécheresse, tolèrent les températures élevées, supportent bien l'humidité, sont très sensibles à la peste bovine, à la péripneumonie, aux piroplasmoses et aux rickettsioses, tolèrent les infestations par les trypanosomes (trypanotolérants).

Les zébus tolèrent le vaccin vivant capripestique contre la peste bovine, les taurins y sont très sensibles. Le vaccin de culture contre la péripneumonie doit être plus atténué pour les taurins que pour les zébus.

1. BOVINS D'AFRIQUE OCCIDENTALE ET CENTRALE

1.1. Zébus

On peut classer les nombreuses races de zébus d'Afrique occidentale et centrale en deux grands groupes :

— les zébus sahéliens à courtes cornes ;
— les zébus peuls à plus ou moins longues cornes.

1.1.1. ZÉBUS SAHÉLIENS A COURTES CORNES

— Aire de dispersion : la zone sahélienne de l'Atlantique au Tchad.
— Aptitudes : lait, viande, portage.
— Variétés : zébus maures, touareg, azaouak, dues à l'isolement géographique et à l'action du milieu.

a) **Zébu maure**

• **Aire géographique**

La race maure habite le Sahel mauritanien et soudanais. Elle est élevée par les Maures. Elle peuple la Mauritanie. Au Mali, on la rencontre dans les cercles de Nioro et de Nara, jusqu'au Macina et au Nord de la boucle du Niger.

• **Caractères généraux**

Animal à plus forte ossature, à masses musculaires moins développées, moins bon animal de boucherie que le peul.

Race de taille moyenne : 1,25 à 1,30 m chez le taureau et la vache, 1,40 à 1,50 m chez le bœuf, poids de 350 à 500 kg chez le taureau et le bœuf, 250 à 300 kg chez la vache en élevage traditionnel.

• **Caractères ethniques**

La tête est longue et fine, à profil rectiligne, à chignon saillant, avec une dépression centrale du front. Les cornes sont courtes et fines chez le mâle et le bœuf, longues et fines chez la vache.

La robe varie du brun au fauve, robes pie fréquentes. Tête souvent blanche.

Mamelle assez bien développée avec des trayons gros et longs.

• **Aptitudes**

La race maure est essentiellement nomade et la plupart des bœufs sont dressés au portage. Cette adaptation au travail locomoteur fait que sa conformation se prête mal à l'engraissement.

On rencontre cependant de bons modèles qui, à l'âge de 8 à 12 ans, présentent un bon développement musculaire. Le poids vif moyen est de 340 kg avec un rendement d'une carcasse de bonne 1re qualité, de 50 à 52 p. 100 et de 42 p. 100 environ pour ceux qui vivent sur les pâturages les plus pauvres.

La vache est assez bonne laitière. Certaines donnent 4 à 5 litres de lait par jour.

b) **Zébu de l'Azaouak**

• **Origine**

Elle tire son nom de la région d'origine, la vallée de l'Azaouak, vaste région qui s'étend entre le 15° et le 18° de latitude Nord et depuis le 4° de longitude Est jusqu'aux limites occidentales de la République du Niger. Se rencontre dans le Niger, jusqu'au fleuve qui constitue sa limite d'extension à l'est.

• **Caractères généraux**

Chez un zébu de taille moyenne : 1,20 m à 1,30 m chez le taureau, 1,10 m à 1,20 m chez la vache, atteignant un poids oscillant autour de 300 kg pour le mâle, 250 kg pour la femelle.

La conformation générale de la femelle est finie et son aptitude laitière la plus développée des zébus de l'Afrique occidentale.

• **Caractères ethniques**

L'Azaouak appartient au type rectiligne, bréviligne, eumétrique.

Les cornes sont insérées haut, en forme de croissant, de couleur grise. Elles sont courtes, épaisses et droites chez le taureau, fines et en croissant chez la vache, plus longues chez le bœuf (35 à 40 cm).

La robe est généralement froment foncé et à lunettes, mais on trouve toutes les variétés de robe. La coloration des muqueuses est très variable.

A la station de Filingué (République du Niger) on sélectionne la variété fauve à muqueuses et extrémités brunes.

• **Aptitudes**

— **Travail :** le bœuf est fréquemment utilisé pour le portage et dans ce but, le taureau est castré vers 2 à 3 ans.

— **Viande :** c'est un bon animal de boucherie, qui s'engraisse facilement, son rendement est 48 à 50 p. 100.

Le cuir pèse de 6 à 8 kg (sec).

— **Lait :** la vache de l'Azaouak occupe le premier rang parmi les vaches laitières. Sa lactation est d'une durée moyenne de 7 à 8 mois et atteint 800 à 1000 litres. Elle débute par 6 à 8 litres par jour, pour atteindre 2 litres en fin de lactation. Les différences individuelles sont considérables.

1.1.2. ZÉBUS PEULS

L'aire de répartition des zébus peuls est très vaste, leur habitat coïncide avec celui des éleveurs peuls : fleuve Sénégal, Sahel soudanais, delta central du Niger, il s'étend jusqu'au Tchad, au Cameroun (zébu Foulbé de l'Adamaoua) et jusqu'en Centrafrique.

a) **Zébu peul soudanien** (courtes cornes ou moyennes)

• **Aire géographique**

Le sud de la zone sahélienne et la zone soudanienne.

Cette race est limitée à l'ouest et au nord par la race maure, à l'est par la race touareg.

Cette race est aux mains des éleveurs peuls, qui peuplent la région de Ségou, de Macina, du Diaka, de Mopti, de Niafunké en République du Mali.

On rencontre de nombreux métis zébus sahéliens x zébus peuls soudaniens.

• **Caractères généraux**

Le zébu peul soudanien est un animal de format moyen dont la taille varie de 1,20 m à 1,40 m avec un poids oscillant entre 300 et 350 kg pour les mâles et 250 à 300 kg pour les femelles.

• **Caractères ethniques**

La tête est assez longue et fine. Les cornes courtes ou de longueur moyenne sont généralement en croissant, fortes à la base et dirigées en avant.

Les robes dominantes sont le gris clair à muqueuses souvent noires dans certains troupeaux (peuls de Ségou, peuls Toronké) et le gris clair moucheté (peuls Sambourou). Plus au nord, dans tout le delta central nigérien, les robes sont très diverses (robes pie-noir, pie-rouge, etc.).

• **Aptitudes**

Bon animal de boucherie, avec un poids moyen de 320 kg et rendement en viande de 48 p. 100. Les carcasses de première qualité atteignent 50 p. 100. Fait l'objet d'une exportation sur pied importante vers les pays côtiers du golfe de Guinée.

Le cuir sec pèse 6 à 7 kg.

Vache peu laitière, 2 à 3 litres de lait par jour. Production totale : 700 kg en 8 mois.

Employé pour la traction au Mali et au Burkina. Les taureaux sont castrés entre 18 mois et 2 ans et mis au travail entre 2 et 3 ans.

b) **Zébu peul de l'Adamaoua** (ou Zébu foulbé)

• **Aire géographique**

Se rencontre au Cameroun, principalement dans l'Adamaoua, région de plateaux de 1 000 m d'altitude en moyenne (Ngaoundéré).

• **Caractères généraux**

Zébu de taille moyenne : 1,15 m à 1,25 m, atteignant le poids de 450 kg chez le mâle, 330 kg chez la femelle.

• **Caractères ethniques**

Animal médioligne, eumétrique.

Tête longue, étroite, avec des cornes courtes et fines. Bosse bien développée et tombante. Squelette léger avec des masses musculaires bien développées à l'arrière-main.

Robe souvent blanche tachetée de rouge ou noir, rouge, froment.

• **Aptitudes**

Le foulbé de l'Adamaoua et un bon animal de boucherie possédant une bonne faculté d'engraissement, un rendement en viande 50 à 52 p. 100 en élevage traditionnel.

Sa docilité en fait un animal de trait réputé.

La production laitière est moyenne :

— production totale : 960 kg

— durée de lactation : 216 jours

— durée du tarissement : 219 jours.

c) **Zébu peul sénégalais ou zébu Gobra** (longues cornes)

• **Alre géographique**

Ce zébu vit à l'ouest du Sénégal dans les provinces du Baol, du Djolof, du Cayor, au nord de la province du Siné-Saloum et le long du fleuve Sénégal, au sud de la Mauritanie et nord-ouest du Mali (zone sahélo-soudanienne).

• **Caractères généraux**

Le zébu Gobra est un animal de grand format, 1,25 m à 1,45 m, atteignant le poids de 350 à 450 kg chez les mâles adultes et 250 à 350 kg chez les femelles.

• **Caractères ethniques**

La tête est assez longue (0,40 m à 0,50 m). Les cornes sont longues chez le bœuf et la vache, plus courtes chez le taureau. Elles sont en forme de haute lyre, 70 à 80 cm.

La bosse est très développée. La robe est généralement blanche. On rencontre cependant des blanc-rayé, des rouge-pie, des froment.

• **Aptitudes**

— **Travail** : le bœuf est utilisé au joug et au portage. C'est le meilleur de tous les zébus de l'Afrique de l'Ouest pour le travail.

— **Viande** : le zébu peul sénégalais représente le meilleur modèle de boucherie parmi les zébus de l'Afrique occidentale. Prêt pour l'abattage à 5 ans, rendement 50 à 53 p.100 en première qualité, 48 p.100 en qualité moyenne.

— **Lait** : production laitière moyenne

— production totale : 505 kg

— durée de lactation : 7 mois

d) **Zébu M'bororo** (longues cornes)

• **Aire géographique**

Cette race peuple tout le Niger jusqu'au Tchad, ainsi que toute la région correspondant au nord de la Nigeria. On la rencontre aussi au Cameroun (Adamaoua) et en Centrafrique.

Dans le nord du Bénin, les représentants sont peu nombreux et répartis sur la rive droite du Niger.

• **Caractères généraux**

C'est un animal de grande taille : 1,40 m à 1,60 m chez le taureau, dont le poids varie de 300 à 400 kg et 1,35 m à 1,45 m chez la vache, dont le poids varie de 250 à 300 kg. Ce sont des animaux nerveux, d'une grande finesse, grands marcheurs, des animaux de grande transhumance.

• **Caractères ethniques**

Les cornes sont implantées haut et en forme de lyre. Leur longueur peut atteindre 0,80 m à 1,20 m chez la vache et le bœuf.

On distingue deux variétés :

— le Djafoun, animal de très grande taille, pouvant dépasser 1,60 m en arrière de la bosse. Robe uniforme acajou, muqueuses roses, fanon pendant. Zébu peu fourni en viande, de caractère farouche, de très grande rusticité ;

— l'Akou, moins grand, plus musclé, 1,40 m en arrière de la bosse. Robe toujours blanche. Fanon très développé. Rendement laitier relativement important.

• **Aptitudes**

— **Travail** : le M'bororo, en raison de son caractère farouche, se prête peu au dressage pour le travail. Cependant, des essais effectués en Centrafrique ont démontré que l'usage du zébu M'bororo pour la culture attelée était intéressant.

— **Viande** : l'aptitude à la boucherie est faible en raison du développement de son squelette. Le rendement est médiocre : 45 p. 100 et la viande de 2e qualité est fibreuse.

— **Lait et beurre** : la lactation dure au maximum 6 mois et varie de 3 à 4 litres sur les très bonnes vaches au début de la lactation, pour atteindre 1,500 litres à la fin. Production totale : 380 à 400 kg.

1.2. Taurins

Les taurins d'Afrique occidentale et centrale (*Bos taurus*) bétail trypanotolérant, se répartissent en deux grands groupes :

— le bétail à longues cornes, représenté par la race N'dama ;
— le bétail à courtes cornes, représenté par de nombreux types :
  – Gold Coast shorthorn au Ghana ;
  – Nigerian shorthorn au Nigeria ;
  – Race des Lagunes : Côte d'Ivoire, Togo, Bénin ;
  – Gambian dwarf en Gambie ;
  – Bakosi au Cameroun ;
  – Somba dans l'Atakora, au nord Bénin ;
  – Logone au Tchad ;
  – Baoulé en Côte d'Ivoire.

Les deux groupes précédents auraient donné des souches métisses telle la race du Borgou se trouvant au Bénin, surtout dans le Nord, et au Togo.

En dehors de toutes ces races trypanotolérantes, vivant en zone soudanienne ou en zone guinéenne, il existe une race taurine très particulière vivant sur les rives marécageuses du lac Tchad : la race Kouri.

a) **Race N'dama**

Elle est le type le plus représentatif de l'espèce taurine en Afrique occidentale et son aire géographique limitée au massif montagneux Fouta-Djalon, en Guinée, lui a permis de conserver ses caractères ethniques originels. Au dehors, sous l'influence du milieu, elle s'est transformée pour donner de nombreux produits qui peuplent les zones soudaniennes et guinéennes.

• **Aire géographique**

Le berceau est en Guinée, dans le Fouta-Djalon, chez les Foulahs.

Cette race, très rustique, possédant une grande résistance aux trypanosomiases, s'est acclimatée dans de nombreuses régions, au Sénégal, au sud du Mali et du Burkina Faso, au nord de la Côte d'Ivoire, au Togo, au Bénin.

• **Caractères ethniques**

La conformation générale, dans son ensemble, semble parfois un peu massive et trapue pour les taureaux, mais les formes sont harmonieuses et d'une grande finesse chez la vache.

La race est de petite taille : la hauteur au garrot varie de 0,95 m à 1,10 m ; les vaches sont plus petites que les taureaux et surtout que les bœufs ; ces derniers atteignent rarement plus de 1,18 m.

Le poids d'un bœuf adulte et en bon état est rarement inférieur à 250 kg et peut atteindre parfois, pour les sujets de forte taille, 330 kg.

La tête est large et forte, avec les cornes en lyre effilées à l'extrémité.

Les poids sont fins et courts. La robe présente toutes les nuances du fauve, mais la plus répandue est froment ordinaire. Elle présente toujours des renforcements de ton aux extrémités et s'éclaircit au contraire sous le ventre, à la face interne des membres. On voit encore des robes très foncées, jusqu'au noir franc, ou pie-noir, pie-fauve, mais rarement complètement blanches.

• **Aptitudes**

— **Lait** : la vache est peu laitière. Les mamelles sont peu développées, avec de petits trayons cylindriques. La quantité de lait sécrétée en pleine période de lactation est en moyenne de 2 à 3 litres par jour, durant 7 à 8 mois. Production totale : 500 kg en élevage traditionnel.

— **Viande** : le rendement moyen des bœufs en bon état de chair pendant la saison des pluies est généralement supérieur à 50 p. 100. Certains individus mieux conformés donnent un rendement en viande nette de 55 p. 100. La viande est bonne, de grain serré, peu infiltrée de graisse. Au total, race ayant une bonne aptitude de boucherie.

	Mâles p. 100	Femelles p. 100
Rendement	50,7	44,4
Rendement net (1)	65,2	58,4
Viande, Carcasse	76,1	73,7
dont :		
Viande à rôtir	35,3	35,6
Viande à braiser et bouillir	40,7	38,2
Os	17,8	19,4
Suif	5,9	6,1
Déchets	0,3	0,7

(1) Contenu panse et intestin déduit.

— **Cuir** : d'excellente qualité lorsqu'il est bien conditionné. Commercialisé sous le nom de « vachette de Guinée », pèse sec environ 4 kg.

— **Trait** : les taureaux sont castrés à 18 mois-2 ans.

Les bœufs sont utilisés pour la traction : une paire peut tirer une charge d'environ 380 kg à la vitesse horaire de 4 km.

— **Diffusion de la race** : exportation en Martinique, dès 1825.

La race N'dama a été choisie en raison de ses qualités de trypanotolérance pour peupler les savanes du Congo, de la Centrafrique, du Gabon, du Nigeria et du Zaïre.

— Croisement au Zaïre avec souche flamande x souche Van Lanker ;
— Croisement, en 1914, aux Iles Vierges entre N'dama et Red Poll - bons résultats.
— Croisement avec les Jersiais en Côte-d'Ivoire pour la production laitière. Bons résultats en F1.

b) **Race Baoulé**

• **Aire géographique**

Cette race peuple surtout le nord et la zone moyenne de la Côte-d'Ivoire , en pays Baoulé, le sud du Mali et du Burkina, le Ghana, le Togo, le Bénin, le Nigeria dans sa partie centrale.

Cette race porte des noms divers suivant les pays où elle vit : Somba, Muturu, Bakosi.

Les métissages avec le bétail N'dama sont nombreux, ainsi qu'avec des souches de bétail zébu.

• **Caractères généraux**

Ce sont des bovins de petite taille, légèrement supérieure à celle des bovins

des Lagunes, 90 cm à 1 m chez la vache, 1,10 m chez le taureau, du poids moyen de 190 kg pour la vache, 200 kg pour le taureau, 220 kg pour le bœuf.

• **Caractères ethniques**

Le type est rectiligne, bréviligne, ellipométrique.

La tête est massive, le front plat,. Les cornes sont courtes, en couronne, en croissant ou en crochet.

La peau est souple, le poil court et brillant.

La robe est pie-noir, noir-pie, pie-jaune ou jaune, rarement fauve ou froment. Les extrémités sont foncées, noires ou marquées de noir.

• **Aptitudes**

— **Viande** : la variété Baoulé offre de l'intérêt comme productrice de viande. Les rendements varient de 48 à 52 p. 100. Certains bœufs peuvent arriver à 55 p. 100 avec de la graisse de couverture, sans persillé.

— **Lait** : l'aptitude laitière est très faible : 2 litres chez les meilleures laitières en pleine lactation, qui est très courte : 5 à 6 mois. Production totale : 200 à 300 litres.

— **Travail** : aptitude très réduite en raison du format léger.

— **Cuir** : pèse sec 3 à 4 kg.

Ces animaux sont cependant très recherchés, car ils sont fortement trypanotolérants et aptes à peupler de vastes régions encore vides de bétail bovin en raison des trypanosomiases (Centrafrique, Gabon, Congo, etc.).

c) **Race des Lagunes**

• **Aire géographique**

L'habitat de cette race est restreint : elle se rencontre dans les savanes qui bordent le littoral en Basse Côte-d'Ivoire, le Bas Congo, le Bas Bénin ; le sud du Togo.

L'effectif est réduit à quelques milliers de têtes.

• **Caractères généraux**

Animaux de petite taille : 0,80 m à 1 m, à robe noire ou brune, de conformation massive. Poids moyen : 100 à 120 kg à l'état adulte.

• **Caractères ethniques**

Les cornes sont courtes, rondes, pointues. Celles de la femelle sont plus fines, à section ovalaire, courtes et dirigées le plus souvent en avant, recourbées en haut ou en bas.

Les cornes flottantes ou absentes sont fréquentes, ainsi que chez tous les bovins élevés en région humide.

La robe est généralement noire, avec ou sans taches blanches, souvent pie-noir, les robes rouges et dérivées sont rares.

• **Aptitudes**

Adaptation remarquable à un milieu peu favorable à l'élevage, où prolifèrent les maladies parasitaires. Possède une solide trypanotolérance.

La conformation du mâle est bonne pour la production de la viande.

La femelle est mauvaise laitière : 125 kg en 5 mois.

Animal de caractère très doux, vivant autour des cases des villages.

d) **Race du lac Tchad ou Kouri**

• **Aire géographique**

L'habitat du bœuf du Tchad est limité. En dehors des îles et des rives du Tchad, on ne trouve guère que des produits de croisement, avec le zébu arabe, le plus souvent (animaux rouges ou pie-rouge).

• **Caractères généraux**

Le bœuf du lac, encore appelé bœuf Kouri, se caractérise par sa grande taille : 1,30 à 1,50 m, sa robe à fond clair (blanc ou isabelle, rarement mélangé de rouge et de noir) et surtout par son cornage qui présente des proportions parfois anormales.

Le bœuf atteint un poids moyen de 400 à 500 kg et dans certaines conditions d'engraissement, 600 à 700 kg. Il a une silhouette massive, à ossature développée. Animal lourd et docile.

• **Caractères ethniques**

C'est un rectiligne, longiligne, eumétrique.

La tête est longue (55 à 60 cm) et large. Le chignon est nu, sa crête supérieure est déprimée en forme de V.

Les cornes sont énormes, à section ronde. Elles ont de 70 cm à 1,30 m de longueur, avec 30 à 50 cm de circonférence à la base. Ces cornes, quoique énormes, sont très légères. La cheville osseuse, très poreuse, est constituée d'alvéoles à parois très minces. Le revêtement corné est lui-même très mince.

• **Aptitudes**

— **Viande :** élevés dans un climat chaud et humide, ces animaux ont une grande tendance à l'adiposité. Prêts à l'abattage vers 5 ans, ils fournissent une viande de bonne qualité avec un rendement de 50 p. 100. Viande persillée exceptionnelle en zone intertropicale.

— **Lait :** l'aptitude laitière est assez développée : 4 à 6 litres de lait par jour contenant 30 à 35 g de matières grasses par litre. Les meilleures vaches ont fourni 1 650 litres de lait en 280 jours.

— **Travail :** l'aptitude au travail est médiocre. Les mâles sont utilisés en mode de portage. Ils nagent parfaitement et se rendent avec la plus grande facilité d'une île à l'autre.

— **Cuir :** sec, pèse de 7 à 10 kg.

2. BOVINS DE MADAGASCAR

2.1. Zébu malgache

• **Aire géographique :** l'Île de Madagascar (zones occidentale et centrale)

Importé vraisemblablement des Indes, le zébu s'est parfaitement adapté aux conditions du milieu de Madagascar. Élevage sédentaire pratiqué par des agriculteurs.

• **Caractères ethniques**

C'est un animal eumétrique, rectiligne, aux cornes à section circulaire en forme de lyre. Sa bosse volumineuse lui donne une silhouette caractéristique. La taille est d'environ 1,20 à 1,30 m pour les mâles et 1,20 m pour les femelles.

La musculature est développée. Le poids vif atteint, dans les conditions naturelles d'élevage, 300 à 350 kg chez le taureau et 200 à 250 kg chez la vache. La robe est foncée, en général noire ou pie-noir, parfois rouge ou pie-rouge.

Le zébu malgache est un médiocre marcheur ; ce caractère prend son importance au stade de la commercialisation où l'animal doit parcourir des distances assez considérables.

• **Qualités et aptitudes**

— **Rusticité**

Les conditions d'élevage qui lui ont été imposées ont fait du zébu malgache un animal rustique, demandant un minimum de soins et apte à digérer une nourriture pauvre et sèche. Il est paisible, facile à dresser pour le travail.

— **Précocité**

Le manque de précocité, rançon de sa rusticité, est constant chez les zébus. Celui de Madagascar n'atteint, dans les conditions naturelles, son plein développement qu'entre 6 et 7 ans.

Cependant, les essais d'entretien rationnel réalisés à Madagascar permettent d'affirmer que les causes essentielles de ce défaut tiennent plus au mode d'élevage qu'à une déficience intrinsèque de ce bétail.

— **Viande :** le zébu malgache possède des qualités bouchères intéressantes ; la viande vendue sur le marché est bonne et souvent excellente. On abat les animaux de 6 à 12 ans au poids moyen de 350 kg. Le rendement est bon : 48 à 55 p. 100.

Les carcasses peuvent atteindre des poids importants : les bœufs de fosse abattus à Tananarive atteignent parfois 440 kg.

Pourcentage de viande (p. 100)

1re catégorie	40
2e catégorie	25
3e catégorie	35

— **Lait :** la production moyenne, en milieu traditionnel, oscille entre 270 et 360 litres par lactation, dont 200 à 300 litres doivent être laissés au veau pour sa subsistance, en 6 mois de lactation environ.

L'alimentation joue un rôle double : accroissement de la production au cours de chaque lactation et augmentation du nombre de lactations par une meilleure fécondité des femelles reproductrices.

— **Cuir :** poids moyen : 7 à 8 kg.

— **Travail :** mise au travail vers l'âge de 4 ans. Animaux dociles. Portage : 350 à 500 kg à la vitesse horaire de 4 km. Distance parcourue pendant une journée de travail, environ 30 km. Assurent la préparation des rizières par piétinement, travail très fatiguant, qui fait maigrir le bétail.

Les croisements laitiers ont été effectués avec les races Normande et Frisonne française pie-noir. Sur les plateaux, on obtient des productions de 1 000 kg à 1 500 kg en 300 jours pour des métis de 1re génération, de 2 500 à 4 300 kg en 300 jours, chez des métis ayant 15/16 à 31/32 de sang Frison.

2.2. Autres races

— Race Rana

Le bétail Rana s'est formé par croisements entre femelles zébues autochtones

et mâles de races taurines d'importation : Normande, Bretonne pie-noir, Gasconne, Bordelaise, Frisonne, etc. Ce bétail est élevé pour la production laitière autour de Tananarive.

• **Caractères ethniques**

Race sans bosse plus fine, moins ramassée que le zébu.
Robe de couleur variée : grise avec extrémités foncées,
pie-noir,
froment-fauve.

• **Aptitudes**

Production du lait : 5 à 8 litres par jour pendant une lactation de 6 mois environ. La plus grande production signalée est 2 800 litres de lait en 300 jours.

— **Race Renitelo**

Le métissage entre le zébu malgache, le zébu afrikander importé d'Afrique du Sud et le taurin à viande limousin, a donné la race Renitelo possédant des caractères bien fixés, dont il existe un troupeau de sélection de plusieurs centaines de têtes dans les centres zootechniques nationaux.

Bétail sans bosse, de robe unie acajou. Poids des mâles à 1 an : 210 kg, à 3 ans : 400 kg.

Bonne aptitude à la production de la viande, alliée à une bonne rusticité. Bétail docile, utilisé pour la traction attelée, car il est d'un format plus grand que les zébus autochtones.

3. BOVINS DES INDES

Il existe aux Indes une quarantaine de races de zébus. On ne trouvera ci-après que la description de celles qui ont eu une influence certaine sur la diffusion de cette espèce dans le monde.

1) Kankrej ou Guzerat : trait et lait
2) Ongole ou Nellore : trait et lait
3) Gir : lait, viande, trait
4) Red Sindhi : lait
5) Sahiwal : lait, viande

a) **Race Kankrej**

• **Aptitudes :** trait, lait.

• **Aire d'origine :** Gondjerate septentrional dans l'Etat de Bombay.

Climat tropical :

— saison chaude et sèche de mars à juin : température maximale 49° C.
— saison chaude et humide de juillet à octobre : température maximale 33° C, précipitations 500 à 750 mm.
— saison sèche et froide de novembre à février : 4 à 15° C.

• **Caractéristiques**

Race subconcave, longiligne, hypermétrique. Robe grise on foncée ; cornes en lyre haute.

Peau fine chez le mâle : fanon et fourreau minces et pendants ; robe gris-fer ou noir acier ; cornes fortes en lyre.

• **Travail**

Castration entre 6 mois et un an.

Mise au travail : 3 ou 4 ans. Poids : 360 à 400 kg.

Une paire de bœufs tire, sur mauvaise route, avec une charrette à bandage de fer, 650 à 900 kg ; et sur bonne route : 1 800 kg. L'attelage peut parcourir 40 km en 10 heures, dans de bonnes conditions.

• **Diffusion dans le monde**

La race Kankrej a été exportée en Amérique du Nord et du Sud où elle est connue sous le nom de Guzerat.

— **Brésil :** Minas Gerais, São Paulo, Goias, Mato Grosso (zone tropicale humide).

— **États-Unis :** Golfe du Mexique (zone tropicale humide).

Les zébus Brahma américains ont une forte proportion de sang Guzerat.

b) **Race Ongole ou Nellore**

• **Aptitudes :** lait, trait.

• **Aire d'origine :** Madras.

Climat tropical : mousson de mai à septembre, 750 à 890 mm, température maximale 35° C ; saison sèche d'octobre à avril, température au début 30° C (janvier), chaude à la fin 40° C (mai).

• **Caractéristiques générales**

Race subconvexiligne, longiligne, hypermétrique.

Robe blanche ou gris clair, tête et encolure plus foncées.

Chez le mâle, lunette et muqueuses noires.

Cornes courtes massives.

• **Travail**

Castration : 24 à 30 mois. Poids : 360 kg. Peut parcourir 40 km par jour à 3-4,5 km/h.

• **Diffusion dans le monde**

La race Ongole est connue sur le continent américain sous le nom de Nellore.

— **Brésil**

Importation en 1895-1906 : 800 têtes. Etats de Rio, Minas Gerais, Pernambuc.

Croît 0,9 kg par jour sur bon pâturage - 351 kg à 2 ans en élevage extensif ; avec aliment de complément 533,5 kg au même âge.

En moyenne, en zone tropicale à Uberada (Etat de Minas Gerais) alimentation normale :

Poids	Un an	Deux ans	Gain quotidien
Mâles	323 ± 5	436 ± 22	0,690
Femelles	195 ± 1,5	312 ± 6	0,420

— **Sri Lanka**
Ils sont mieux acclimatés dans la région sèche que dans la partie méridionale humide - recherchés pour le trait.

— **États-Unis**
Importation en 1906, a été à l'origine de la race Brahma et en partie de la race Santa Gertrudis. Cette dernière ayant du sang Brahma, Shorthorn et Afrikander.
Il existe des troupeaux de race pure Nellore en Floride et au Texas.

— **Îles Fidji**
Recherchés pour le trait et pour le lait.

— **Vietnam**
Ont été acclimatés dans la zone du delta du Mékong.

— **Indonésie**
Importés de 1906 à 1914 : Java, Sumatra, Bornéo, Célèbes. Sur herbage naturel, à Java, taureaux de 5 ans : 450 à 650 kg ; nourris à satiété à l'étable : 600 à 800 kg au même âge.
A Sumba, bœufs dressés à 18-24 mois pèsent 250 à 300 kg, vitesse rapide 4 à 4,9 km/heure avec charge de 1 260 kg, sur bonne route.
Emploi de chaussons en caoutchouc pour protéger les sabots.

c) **Race Gir**

• **Aptitudes :** trait, lait, viande.

• **Aire d'origine**
Côte occidentale de l'Inde, presqu'île de Kathiwar.
Climat tropical : octobre à mars saison fraîche avec rosées, température maximale 23,9 °C (janvier) ; avril à juillet saison chaude et sèche, température maximale avril 38,9° C ; juin à octobre saison des pluies, chaude et humide, température maximale 32° C, précipitations 500 à 750 mm.

• **Caractéristiques**
Race convexiligne, longiligne, hypermétrique ; profil caractéristique : front proéminent très large, oreilles longues pendantes, très longues cornes aplaties reportées vers l'arrière.
Peau souple, mobile ; fanon et fourreau très développés, flottants.
Robe blanche avec taches rouge foncé ou brun, parfois robe uniformément rouge.

• **Travail**
Par paire avec charrette à roues à bandage de fer, traction : 550 kg sur 32 km en 7 à 8 heures. En moyenne, 10 heures de travail par jour.

• **Diffusion dans le monde**
Amélioration du troupeau indien lui-même.

— **Brésil :** São Paulo 1890.
La race brésilienne Indo-Brasil est issue du croisement Gir x Kankrej.
Au Brésil, les poids sont supérieurs à ceux de la race dans son berceau d'origine.

Poids kg	Naissance	12 mois	24 mois
MÂLES			
Maximum	31,6	265,8	456,6
Moyen	25,8	247,4	405,8
Minimum	20	230	355
FEMELLES			
Maximum	27,2	263	334
Moyen	20,8	229,5	314,5
Minimum	14,5	196	295

Production laitière : 4 339 à 5 343 kg.
Premier vêlage : 49 mois.
Âge mise en service des taureaux : 24 mois.
Rendement en viande jusqu'à 62 p. 100.

d) **Race Red Sindhi**

• **Aptitude :** lait.

• **Aire d'origine**

District de Karachi et Haiderabad, Beloutchistan.

Climat tropical, de novembre à mai, hiver sec et relativement frais (16 à 18,5° C, minimum + 1° C), de mai à juillet climat sec et chaud (28 à 30° C) maximum en juin (41,5 à 44° C). Précipitations de juillet à octobre 250 à 300 mm, température élevée (32° C).

• **Caractéristiques**

Race subconvexiligne, bréviligne, eumétrique.

Sous-poil ras variant du rouge foncé au jaune. Cornes en lyre, basses ou en coupes.

Dans les fermes où l'alimentation est faite correctement, la production pendant une lactation peut atteindre 5 400 kg en 360 jours.

• **Diffusion dans le monde**

— **Tanzanie**

Amélioration du cheptel local pour la production du lait : 1 106 à 1 726 kg pendant des lactations de 282 à 305 jours. Taux butyreux 4 à 5,7 p. 100 ; extrait sec non gras : 8,9 à 9,7 (après tétée du veau).

— **Philippines**

1 380 kg en 300 jours.
Âge au premier vêlage : 37 mois.
Intervalle entre vêlages : 15 mois.

— **États-Unis :** Belteville, près Washington (1946).

Taureaux pour métissage avec jersiaises pour acclimatation zone chaude et humide du golfe du Mexique.
Lactation des 1/2 jersiaises x Sindhi = 4 767 à 10 737 kg.
Lactation de 365 jours.
Âge du premier vêlage : 25 mois.

e) **Race Sahiwal**

• **Aptitudes :** lait, travail, viande.

• **Aire d'origine**

Zone sèche du Centre et du Sud du Pendjab (Pakistan) ; climat tropical ; précipitations de 250 à 300 mm ; entre avril et octobre, 23 jours de pluies, 8 jours pendant le reste de l'année ; de mars à juin, temps très chaud 43° C, degré hygrométrique dépasse 70.

• **Caractéristiques**

Race rectiligne, longiligne, hypermétrique. Animal de grand format, placide, sous-poil brun foncé rougeâtre souvent rouge pâle ; oreilles longues, cornes courtes et épaisses.

• **Cuir :** sec 8 à 12 kg.

• **Travail**

Les bœufs utilisés pour le travail sont castrés vers 3 ans. Poids 360 kg.

Parcours de 24 km avec 2 tonnes, en 6-8 heures, avec une charrette à pneumatiques.

• **Diffusion dans le monde**

— **Sri Lanka**

Mauvaise adaptation avec climat humide. Précipitations voisines de 2 500 mm. Production laitière 1 125 kg par lactation.

— **Indes**

Largement diffusée en dehors de son berceau Uttar Pradesh ; en 3 générations, par sélection, la production de lait est passée de 225 à 1 125 kg.

— **Jamaïque**

Un taureau importé en 1920 a été à l'origine de la jersiaise de la race Jamaïca Hope.

2 700 kg par lactation de 305 jours en moyenne à 4,7 p. 100 de M.G. ; sujets d'élite : 3 150 kg à 5 p. 100 de matière grasse.

Poids (kg)	1 an	2 ans	Adultes
Femelles	200	320	408
Mâles	230	380	590

— **Kenya**

Croisement Sahiwal avec zébu local.

Métis Sahiwal x Nandi : 1 814 kg de lait à 5,1 p. 100 de M.G. en 275 jours soit 455 kg de plus que les vaches zébues locales.

Intervalle entre vêlages : 12,4 mois.

— **Madagascar**

Un petit troupeau provenant du Kenya entretenu au C.R.Z. de Kianjasoa.

— **Sénégal**

Un petit troupeau provenant de Tunisie entretenu au C.R.Z. de Dahra.

Production laitière atteignant 12 kg/jour après le vêlage.

— **Rwanda**
Petit troupeau provenant du Kenya. Croisement avec zébu local et taurin de race jersiaise.

B - LES MOUTONS

Le troupeau ovin de l'Afrique intertropicale est composé essentiellement de moutons à poils et d'une race de moutons à laine, localisés dans le delta central nigérien et sur les bords du Niger, en amont de Gao (race de Macina).

1. MOUTONS A POILS

On distingue deux grands types : les moutons du Sahel, de grande taille, élevés en grands troupeaux par des bergers nomades, et les moutons de la zone guinéenne, de taille plus petite, élevés en petits troupeaux autour des villages sédentaires.

1.1. Moutons du Sahel

Ces moutons, qui vivent dans la zone sahélienne et une partie de la zone soudanienne, représentent plusieurs races : mouton maure, mouton peul, mouton targui. Ils sont tous de grande taille et très longilignes.

a) **Mouton maure à poil ras**

• **Aire géographique**
Mauritanie, Mali, le Sahel au nord du 15e parallèle jusqu'à Tombouctou.

• **Caractéristiques**
Convexiligne, longiligne, hypermétrique.

	Bélier	Brebis	Mouton
Âge	2 ans	2 ans	6 ans
Poids	30 kg	24 kg	45 kg
Hauteur garrot	82 cm	76 cm	82 cm
Périmètre thoracique	88 cm	85 cm	102 cm

• **Productions :** viande, peau
Bon animal de boucherie, rendement 40 à 45 p. 100. Suralimenté peut atteindre 80 à 90 kg à 18 mois-2 ans (mouton de case).
Peau sèche : 0,600 kg.

b) **Mouton maure à poil long**

• **Aire de dispersion**
La même que le mouton maure à poil ras. Plus nombreux dans les régions de Néma, Nara, Nioro et du Trazra. On en trouve aussi au Tchad.

• **Caractéristiques**
Convexiligne, longiligne, eumétrique. Un peu moins grand que le maure à poil court. Toison noire quelquefois brune ou pie-noir. Poil long de 8 à 10 cm, raide.

	Bélier	Brebis	Mouton
Âge	2 ans	2 ans	2 ans
Poids	45 kg	30 kg	39 kg
Hauteur garrot	80 cm	72 cm	78 cm
Périmètre thoracique	84 cm	77 cm	84 cm

• **Productions :** viande, poil, peau
Viande : rendement 35 à 45 p. 100.
Poil : cordes, tentes.
Peaux : peaux d'agneaux, tapis, couvertures.

• **Amélioration**
Croisement d'absorption avec mouton de Boukhara (Astrakan) à Nioro (Mali). Les peaux d'agneaux de quelques jours sont utilisables en pelleterie dès le stade 5/8 Boukhara.
Au stade 15/16 de sang Boukhara, on obtient des peaux de bonne qualité, légères, avec une fourrure ayant un très bon lustre.

c) **Mouton Peul**

• **Aire géographique**
Elevé dans toute la zone sahélienne et soudanienne par les bergers d'origine ou de tradition peule.

• **Caractéristiques**
Convexilignes, longilignes, eumétriques. Ressemblent au mouton maure à poil ras, robes blanches unies (Toronkés Mali) ou pie ; petites taches foncées noires ou brunes bien délimitées (Warbés au Mali) ; robes bicolores : avant-train foncé, arrière-train blanc (Niger et Tchad).

	Bélier	Brebis	Mouton
Âge	Beaux sujets adultes		
Poids	45 kg	40 kg	50 kg
Hauteur garrot	75 cm	70 cm	75 cm
Périmètre thoracique	85 cm	80 cm	

• **Aptitudes :** viande, peau
Bon animal de boucherie. Rendement en viande 48 à 50 p. 100.
Production laitière moyenne.
Peau sèche 0,8 à 1,2 kg.

d) **Mouton Targui**

• **Aire géographique**
Dans la zone sahélienne à l'est de l'habitat du mouton maure, de Tombouctou à l'Adrar des Iforas. Effectifs : environ 2 500 000 têtes.

• **Caractéristiques**
Convexiligne, médioligne, eumétrique.
Robe blanche plus ou moins tachetée, ou gris uniforme.

	Grand mouton targui	Petit mouton targui
Poids	40 à 60 kg	20 à 30 kg
Hauteur garrot	75 à 85 cm	50 à 60 cm
Périmètre thoracique	85 cm	78 cm

1.2. Mouton de la zone guinéenne ou djalonké

La race djalonké se rencontre au Sénégal, en Guinée, au Mali, au sud du 14e parallèle de latitude Nord, en Côte-d'Ivoire et au Bénin. Ce mouton, qui vit dans les pays proches de la mer, est l'animal des populations sédentaires par opposition aux moutons du Sahel, bien adaptés au nomadisme dans les régions semi-désertiques. Il supporte bien les climats humides et est relativement résistant aux affections parasitaires nombreuses en zone guinéenne.

• Caractères ethniques

Mouton à poils qui ne peut être exploité pour la production de laine.

La race est petite : taille au garrot : 0,60 m chez le mâle, 0,40 m chez la femelle. Le poids varie entre 20 et 30 kg vif.

La tête est forte, à front plat, la race est dite rectiligne. Le chanfrein à peine busqué.

La robe est blanche, le plus souvent pie-noir ou pie-roux. Les deux couleurs sont mêlées de façon variable, mais le plus souvent la partie fonçée couvre le train antérieur. Le pelage est à poil ras, mais le mâle porte une crinière et une manchette de poils allant de la gorge à l'interars.

• Aptitudes

Race très rustique, remarquable parce qu'elle vit bien dans les zones intertropicales humides, qui sont bien peu favorables à l'élevage du mouton.

Cette race de mouton est avant tout une race de boucherie, relativement bien conformée. Le rendement moyen atteint 48 p. 100 pour les animaux en bon état, il peut même aller à 50 p. 100.

Les autres produits sont les poils, utilisés pour la confection de couvertures d'intérêt local et la peau, qui donne une matière souple très fine, appréciée pour la fabrication de vêtements, vestes, gants, etc. Malheureusement, cette ressource importante est encore mal exploitée, beaucoup de peaux sont rendues inutilisables par suite d'un dépouillement défectueux suivi d'une mauvaise préparation.

2. MOUTONS A LAINE

Les moutons à laine proviennent très certainement des troupeaux importés par les Marocains dans la région de Tombouctou.

Race du Macina

Seule race dite « à laine » capable de donner une production honorable en qualité et en quantité.

La race vit au Mali, dans le delta central du fleuve Niger, dans les régions de Ségou, de Mopti et jusqu'à Niamey. On estime qu'il y a environ 1 million de têtes.

• **Caractéristiques**
Rectiligne, médioligne, eumétrique

	Bélier	Brebis
Âge	3 ans	3 ans
Poids	38 kg	34 kg
Taille	0,69 m	0,69 m
Périmètre thoracique	0,89 m	0,75 m

Toison jarreuse ouverte sans suint à mèches pointues et vrillées ; longueur du brin 12 à 15 cm. Si deux tontes par an diamètre 45 µ très variable 20 à 95 µ. Poids de la toison moyenne 600 à 700 g par an. Laine pour couvertures, tapis, feutres et tweed.

Mauvais animal de boucherie, rendement 40 p. 100.

• **Productions :** laine, viande.

• **Amélioration**
Croisement avec Mérinos du Cap x Mérinos d'Arles dans les années 30. La laine plus fine obtenue ne convenait pas pour l'usage artisanal.

C - LES CHÈVRES

On distingue parmi les chèvres trois types :
— la chèvre du Sahel, de grande taille, élevée en troupeau par des bergers nomades,
— la chèvre de la zone guinéenne, de petite taille, élevée par les sédentaires en liberté autour des villages,
— la chèvre de Maradi (Niger) ou de Sokoto (Nigeria), médioligne, eumétrique.

a) **Chèvres du Sahel**

• **Aire de dispersion**
Ce type se rencontre dans toute la zone sahélienne où certaines fractions maures ou touaregs se sont spécialisées dans son élevage.

• **Caractéristiques**
Les animaux sont des rectilignes, longilignes, hypermétriques dont la taille atteint 0,80 à 0,85 m chez le bouc, 0,70 à 0,75 m chez la chèvre, le poids variant de 25 à 35 kg.

La robe est très souvent conjuguée noire, blanche, rouge chez les touaregs, grise chez les maures sans cependant qu'il faille en faire une règle.

• **Production laitière**
La production laitière est de 100-120 kg en 120 jours ; cette chèvre donne souvent deux petits par portée. Le lait est consommé par les éleveurs. La viande est de bonne qualité.

b) **Chèvres de la zone guinéenne**

• **Aire de dispersion**

Elles se rencontrent dans le sud de la zone soudanienne, dans toute la zone guinéenne et dans la zone forestière de Côte-d'Ivoire, Libéria, Ghana, etc.

• **Caractéristiques**

Petite taille : 0,40 à 0,50 m. La taille est d'autant plus petite que l'on descend vers le Sud. Le poids varie de 15 à 20 kg.

Ce sont des animaux rectilignes, brévilignes, ellipométriques, trapus, bien en chair, la robe est brune à extrémités noires avec raie de mulet, ou blanche avec taches noires. Très rustiques, ces chèvres vivent parfaitement dans les zones où le bœuf ne eut être élevé en raison de la présence des glossines et des trypanosomes.

• **Aptitudes**

Elles donnent une viande excellente, elles sont moins bonnes laitières que les chèvres du Sahel.

c) **Chèvre de Maradi**

Grâce à une sélection systématique faite depuis bientôt quarante ans, la chèvre de Maradi forme une population très homogène dans la région centrale du Niger, plus particulièrement dans les arrondissements de Maradi, Tanout, Tessaoua, Zinder, Magaria. On la trouve également dans le Nord du Nigeria, dans les provinces de Kano, Sokoto et Katsina.

• **Caractéristiques**

L'animal est de petite taille (60 cm), son poids varie de 25 à 28 kg.

Sa robe est uniformément acajou brillant à poils courts avec des extrémités légèrement plus foncées ; toute tache blanche est un signe de métissage.

• **Aptitudes**

Cette chèvre est très prolifique : les portées de deux chevreaux sont normales, celles de 3 et 4 fréquentes.

C'est une très bonne laitière. La carcasse bien ronde donne une viande de bonne qualité.

La peau fine, souple et nerveuse, est très appréciée en tannerie ; elle est vendue sur le marché international sous les noms de « chèvre de Maradi » et de « Sokoto-red-skin-goat ».

D - LES CHEVAUX

Les chevaux de l'Afrique intertropicale francophone peuvent être rattachés à quatre types principaux :

— le type aryen ou arabe
— le type barbe
— le type dongolaw
— le type poney.

1. LE CHEVAL ARABE

• Origine

Originaire d'Asie, a pénétré en Afrique au moment des invasions musulmanes.

• Aire de dispersion

On trouve les sujets les plus purs dans le Hodh, l'Aïr et l'Adrar des Iforas.

• Caractéristiques

Petite taille (1,40 m en moyenne) médioligne, légèrement serré de devant et carré du derrière. Tête courte, front large, profil droit.

Robe grise.

Sobre, rapide, aux allures brillantes et allongées.

2. LE CHEVAL BARBE

• Origine

Encore discutée : selon certains, origine africaine, selon d'autres, origine asiatique, commune avec le cheval de Dongolaw sous le nom de race mongolique.

• Aire de dispersion

Fréquent dans l'ouest de l'Afrique, dans toute la région située le long du parallèle de Nouakchott à Oualata comprenant le Trarza, le Brakna, l'Aouker et le Hodh.

Au sud il subit des dégénérescences.

• Caractéristiques

Eumétrique, médioligne, sa taille varie de 1,42 à 1,48 m. Profil légèrement convexe, front bombé. Poids : 300 à 400 kg.

Robe généralement grise.

3. LE CHEVAL DONGOLAW

• Origine

Semble avoir été amené en Afrique tropicale vers le XIII^{e} siècle par des populations venant de l'Est (Haute-Egypte), mais antérieurement d'origine mongolique.

• Aire de dispersion

Surtout au Niger, au Nigeria et au Tchad. Il s'est conservé à peu près pur dans certains îlots tels que le Bornu, la région de Sokoto, chez les Kreda et les Toubbous à l'est du Niger.

Il a formé des îlots de produits de croisement au nord et dans la boucle du Niger, ainsi que des produits dégénérés le long du fleuve.

• Caractéristiques

Convexe, longiligne, à peine eumétrique. Poids moyen 350 à 400 kg. Taille généralement supérieure au barbe : 1,48 à 1,55 m. Tête étroite et longue.

Robe caractéristique, généralement foncée avec les extrémités envahies par le blanc.

4. LE PONEY

• **Origine**
Antérieure aux précédents. Peut-être autochtone.

• **Aire de dispersion**
Limitée. Sénégal (Baol), Bénin (cheval Cotocoli), Mali (Bandiagara), Tchad (poneys Kirdi).

• **Caractéristiques**
Taille variant de 0,95 à 1 m. Commun et dysharmonique. Tête lourde à profil légèrement camus. Membres solides. Robe généralement foncée, baie, parfois alezane.

E - LES ÂNES ET LES MULETS

Il est illusoire de décrire des races parmi les ânes africains.
L'âne existe dans toute l'Afrique, mais son aire de dispersion est limitée vers le sud par sa sensibilité aux trypanosomiases.
Taille : 0,70 à 1 m
Poids : 80 à 100 kg
Poil court, gris avec une bande cruciale noire. Bon porteur, il peut porter des charges de 50 à 100 kg.
La traction asine est assez fréquente au Sénégal et tend à se développer ailleurs (au Burkina).
Le mulet, produit d'un âne et d'une jument, est très rare en Afrique. Il pourrait toutefois présenter un intérêt comme animal de trait.

F - LES PORCS

Les porcs que l'on rencontre en Afrique tropicale appartiennent soit à un type local, soit à des races perfectionnées d'importation.
En pratique, on trouve de petits noyaux de porcs locaux non améliorés vivant en semi-liberté autour des villages, ou de petits élevages d'animaux métissés obtenus par croisement avec des géniteurs d'importation, ou encore des élevages semi-industriels d'importance moyenne de races perfectionnées à l'état pur.

1. RACES LOCALES

a) **Afrique - Amérique du Sud**
Le porc local d'Afrique et d'Amérique du Sud paraît dériver du porc ibérique.

C'est un porc longiligne, mal conformé, haut sur ses membres, d'une taille assez hétérogène : 0,40 m à 0,60 m, d'un poids adulte de 50 kg environ.

La tête est longue, le groin long et cylindro-conique, effilé à l'extrémité. Les oreilles sont petites, portées horizontalement ou légèrement dressées.

La poitrine étroite, les membres longs et grêles, le jambon peu fourni, les animaux étant de type coureur.

La robe est en général noire ou grise, parfois pie-noir.

L'importance économique de ces porcs est faible, leur qualité essentielle est d'être très rustiques, très résistants au milieu souvent peu favorable qui est le leur.

De par leur mode de vie, sont très souvent parasités par la cysticercose qui les rend impropre à la consommation et dangereux pour l'homme.

Cependant, on a constaté qu'il existait une grande variabilité de performances d'une souche à l'autre. En distribuant une alimentation rationnelle, on a obtenu au Mali des animaux qui, en 180 jours, atteignent 78 kg.

A Madagascar, sur des animaux de robe noire, de bonne venue, on a constaté des gains quotidiens supérieurs à 400 g et un indice de consommation de 4, ce qui est relativement satisfaisant, entre 20 et 60 kg.

b) **Asie**

Les porcs locaux d'Asie ont une origine différente. Ils sont brévilignes, avec une tête courte, un groin raccourci, des oreilles petites et dressées.

Le tronc est court, limité par des lignes du dessus et du dessous convexes, les jambons musclés.

Robe le plus souvent noire ou tachée de blanc, avec assez peu de soies.

On distingue :

— le porc cantonais (appelé Chinois en Angleterre et Macao au Portugal) ;
— le porc de Se Tchouan, blanc avec lunettes noires ;
— les porcs Malais, Balinais noirs ;
— le Ilocano (Philippines), noir avec les extrémités blanches.

2. RACES AMÉLIORÉES D'IMPORTATION

De nombreuses races d'origine européenne ont été introduites dans les pays tropicaux. Certaines se sont bien acclimatées et donnent des performances très comparables à celles obtenues dans les régions tempérées lorsque les conditions d'entretien sont satisfaisantes.

2.1. Races noires

Berckshire et Large black. Races anglaises.

La première est peu prolifique, la seconde insuffisamment nombreuse pour fournir des reproducteurs.

2.2. Races à pelage coloré

La race Tamworth

C'est encore une race créée en Angleterre, caractérisée par un pelage brun

sur une peau blanche. Ce caractère paraît provenir de l'introduction de porcs indiens dans la formation de la race.

Le Tamworth possède un nez fin terminé par un groin long et fin. Les oreilles sont portées horizontalement vers l'avant. Le corps est moyennement allongé, supporté par des membres forts. Le développement et les performances de croissance sont plus faibles que pour les autre races anglaises. Par contre, c'est une race résistante et tolérante aux irrégularités alimentaires. Elle a donné de bons résultats partout où elle a été employée, et elle a marqué les métis qui en sont issus.

La race Duroc Jersey

C'est une race créée en Amérique par des croisements multiples auxquels ont participé des porcs rouges de Guinée, des porcs rouges d'Espagne et du Portugal, ainsi que des porcs américains.

La tête a un profil légèrement concave et les oreilles sont portées horizontalement. Le corps est moins développé que celui des grandes races blanches. Les soies sont rouges brun, mais elles sont plus fines que chez le Tamworth.

La fécondité est très bonne : les truies sont d'excellentes nourrices et les performances de croissance se situent à un niveau élevé.

Ce porc est très réputé dans le sud-est asiatique.

2.3. Races blanches

Le développement des grands porcs blancs en Europe et en Amérique du Nord a entraîné leur emploi dans les pays chauds, car la sélection intense dont ils ont bénéficié les a placés à un niveau de productivité nettement supérieur à celui des autres races.

La race Large White ou Yorkshire

Cette race a été créée en Angleterre, mais elle est aujourd'hui internationale car elle s'est répandue dans tous les pays du monde développé où partout elle a été sélectionnée.

C'est avant tout une race de très grand format, caractérisée par un corps de grande longueur, mais nullement lourd, supporté par des membres forts qui lui confèrent une bonne mobilité.

La tête est forte, avec un front large, des yeux fins, un groin assez large, un profil légèrement concave. Les oreilles sont grandes, triangulaires et portées dressées.

La ligne du dos est droite et l'abdomen bien soutenu. La poitrine large et profonde, descendant nettement au-dessous des coudes, donne une grande capacité thoracique. Le dos est large, plat, musclé. La queue s'attache dans le prolongement de ce dernier. Les jambons sont épais et bien descendus. Les membres sont solides, les os forts et les articulations, notamment les jarrets, larges.

Les truies sont très fécondes et bonne nourrices. Les performances de croissance, ainsi que les carcasses, sont excellentes, tout comme la qualité de la viande.

On lui reproche une certaine irrégularité dans les poids à la naissance et au sevrage des porcelets. Elle a été largement utilisée dans les pays chauds, où elle

s'adapte remarquablement si les conditions climatiques ne sont pas vraiment excessives.

La race Landrace

Race danoise, devenue elle aussi internationale car élevée dans de nombreux pays. C'est aussi une race de grand format, au corps long.

La tête est légère avec un profil presque rectiligne, terminée par un groin fin. Les oreilles sont portées horizontalement vers l'avant. Le tronc est fusiforme. La ligne du dos a une tendance à la convexité alors que l'abdomen est bien soutenu. La poitrine a été réduite, elle ne descend pas au-dessous des coudes et la hauteur du tronc devient plus importante à l'arrière qu'à l'avant. Les jambons globuleux donnent à la ligne arrière un profil arrondi. Les membres fins, comme tout le squelette d'ailleurs, conservent de bons aplombs.

La race est très prolifique, très régulière dans la qualité des portées, précoce et d'excellente croissance. Les carcasses sont très bonnes et particulièrement maigres, ce qui est recherché en Europe.

Cependant, la faculté d'adaptation du Landrace n'est pas très bonne et c'est une race exigeante. Elle a fait l'objet de nombreux essais en pays tropicaux, où elle n'a pas, en général, donné d'aussi bons résultats que la race Large White. Sa capacité thoracique réduite paraît être un handicap supplémentaire dans la lute contre la chaleur.

3. RACES METISSES

La production industrielle de porcs utilise le métissage de diverses races et de diverses souches.

Les croisements ont été nombreux entre les porcs d'importation et les souches locales. Il en est résulté la création d'un certain nombre de races métisses.

Le repeuplement d'Haïti après éradication de la peste porcine africaine se réalise avec un porc importé provenant du croisement de trois races (deux races asiatiques, Meishong et Jiaxing et une race gascone) et de la race créole.

Un maximum de précautions sanitaires a été employé pour cette opération.

Les premiers résultats sont très encourageants.

G - LES DROMADAIRES

L'élevage du chameau (*Camelus dromedarius*) ou dromadaire, animal à une bosse, correspond en Afrique tropicale à une zone hydrologique où les rivières sont dépourvues d'eau toute l'année et aux zones de végétation sud-saharienne et sahélienne, en moyenne au-dessus de 14° latitude Nord.

Dans ces zones, le chameau trouve des conditions d'existence, eaux et pâturages salés, qui lui conviennent parfaitement ; il est le seul animal domestique capable de subsister normalement dans ces régions.

L'élevage du chameau est entre les mains des nomades (les Touaregs, les Maures, les Arabes). Les méthodes d'élevage sont assez variables, mais ce sont les grands nomades vivant dans les zones semi-désertiques qui sont les meilleurs éleveurs.

Il est difficile de distinguer les races.

— **Chameau de l'Aïr**
Hypermétrique (2 m), membres grêles, longiligne.
Robe très claire.
Aptitude : selle.

— **Chameau du Sahel**
Hypermétrique (2 m à 1,20 m) longiligne.
Bosse développée. Forte poitrine.
Poil ras et fin, robe fauve à extrémités claires.
Aptitude : selle.

— **Chameau du Tibesti**
Eumétrique, médioligne.
Robe grise parfois foncée, poil grossier.
Aptitude : selle.

— **Chameau du Manga**
Eumétrique.
Vit au Niger (région de Zinder, Gouré).
Aptitude : bon animal de bât.

— **Chameau des Berabiches**
On le trouve au nord de Tombouctou.
Eumétrique (1,85 à 1,90 m), bréviligne et musclé.
Poil assez long et grossier avec touffes sur la fosse, la croupe et aux cuisses.
Robe brunâtre à extrémités foncées.
Aptitude : bât.

CHAPITRE XVIII

HYGIÈNE ET PATHOLOGIE

I

DÉSINFECTION

1. LES DÉSINFECTANTS

1.1. Désinfectants chimiques en solution, en pulvérisation

— Chaux vive, à 10 p.100, éteinte avant l'emploi, s'emploie également en mélange avec la soude caustique (concentration réduite à 5 p.100)
— Formol : solution à 1 ou 2 p.100 (à partir du produit commercial).
— Hypochlorite (eau de Javel) : solution à 2 ou 3 p.100.
— Phénol, en solution aqueuse à 0,5 ou 1 p.100.
— Sels d'ammonium quaternaire (excellents) : solution à 0,5 p.100.
— Soude caustique : solution à 4 ou 8 p.1000 seule ou avec chaux 5 p.100, excellent
— Sublimé : solution à 1 p.1000.
— Crésyl : émulsion à 5 p.100.
— Oxyquinoléine : solution à 5 ou 10 p.1000.
— Acide borique : solution à 1 ou 2 p.100.
— Alcool à 60° ou 90°.
— Bleu de méthylène : solution à 1 p.1000.
— Eau oxygénée à 10 volumes.
— Mercurochrome (solution de commerce).

1.2. Désinfectants chimiques gazeux

— Aldéhyde formique : 330 ml/m^3.
— Vapeur de crésyl : 5 g/m^3.

1.3. Désinfection par les éléments naturels

Eau à 100°C

Pour les instruments en métal, en verre : prolonger l'ébullition plus de 25 minutes après les premiers bouillons. Ajouter, si possible, 20 g de borate de soude par litre d'eau à ébullition.

Le feu

A recommander lorsque son utilisation est possible, notamment pour la destruction des litières, vieux clapiers, perchoirs, etc.

Les matériaux non combustibles, les recoins de murs peuvent être flambés à la lampe à souder (destruction des parasites).

La chaleur sèche

Par exemple four Pasteur pour la stérilisation du matériel chirurgical, de prélèvements, etc.

2. TECHNIQUES DE DÉSINFECTION

2.1. Bâtiments

2.1.1. DÉSINFECTION PAR DES LIQUIDES

a) Conditions à remplir par le mélange désinfectant :

1. — liquide et sous pression (20 à 30 kg/cm^2) pour pénétrer profondément et nettoyer en même temps, les germes pathogènes étant nombreux sous les plaques de saleté ;
2. — mélange alcalin, ce qui fait abandonner le formol acide ;
3. — mélange mouillant : action plus rapide du désinfectant, contact mieux établi avec les germes ;
4. — mélange non détériorant pour le matériel, non toxique pour les animaux et l'opérateur ;
5. — mélange signant son passage : blanchissant (chaux).

b) Formules à utiliser

A. - Soude caustique (paillettes)	100 g
Alkylate de sodium pur (Teepol)	10 g ou 10 ml
Chaux éteinte industrielle module	220 2 kg
Eau	10 l

(contenance d'un seau ordinaire)

B. - Même formule que A sans chaux.

C. - Même formule que A sans soude.

c) Pratique de la désinfection

Variable selon le but poursuivi :

a) Annuelle indispensable

Effectuée en deux interventions successives à 15 jours d'intervalle. Vider les locaux. Nettoyage et décapage avec la formule B lors de la première intervention et A lors de la seconde.

Rinçage à grande eau.

Application de la formule C avec ou sans insecticide.

Toutes ces pulvérisations se font sous forte pression (20 à 30 kg/cm^2). Le corps de la pompe doit être en métal inoxydable et abondamment rincé immédiatement après l'utilisation.

Si le sol est très bosselé, répandre de la sciure pour retenir le liquide pulvérisé.

b) Après une maladie contagieuse

On traitera les locaux dans les mêmes conditions que lors des interventions annuelles.

2.1.2. DÉSINFECTION PAR DES GAZ

Pour la désinfection annuelle ou après une maladie contagieuse quand on ne dispose pas du matériel pour pulvériser sous une forte pression. Nettoyer avant l'opération et gratter les plaques de saleté qui seront brûlées.

ALDEHYDE FORMIQUE

N'attaque pas les métaux. Par mètre cube de local, verser 30 ml de formol du commerce additionné de 30 ml d'eau sur 20 g de permanganate de potassium en paillettes.

Mettre le permanganate en premier et sortir dès l'addition du formol dilué dans son volume d'eau. Laisser agir 24 heures. Bien aérer ensuite.

Prévoir un baquet de volume 5 fois plus grand que le volume de liquide prévu (mélange moussant).

VAPEUR DE CRESYL (5 g/mm^3)

On évapore 5 g de crésyl par m^3 dans des chaudrons étamés à parois très hautes pour protéger le crésyl afin qu'il ne s'enflamme pas. On utilisera du charbon de bois pour le chauffage. Très antiseptique et aussi insecticide.

On fait durer l'action le temps du chauffage : grand intérêt à cause de son innocuité.

2.2. Sols

En ciment ou pavés : comme pour les locaux.

2.3. Véhicules

Ayant servi au transport d'animaux malades, parasités ou de cadavres, indispensable juste après le transport.

Appliquer le protocole décrit pour les bâtiments, désinfection par les liquides (formule B).

2.4. Instruments

Si leurs dimensions et leur matière le permettent, les faire bouillir : voir désinfection par les éléments naturels.

Avant cette ébullition, faire un bon nettoyage suivi de plusieurs rinçages. Sinon, après nettoyage, plonger dans un bain de phénol à 1 p.100 d'alcool à 90° pendant au moins 1 heure.

Une excellente stérilisation des petits instruments, des seringues et des aiguilles peut s'effectuer dans une « cocotte-minute » de ménage.

2.5. Plaies (antisepsie)

Les antiseptiques ne doivent pas être irritants.

— Acide borique : solution à 1 ou 2 p.100.
— Alcool à 60°.
— Ammonium quaternaire : solution à 0,5 p.100 à froid.

Antiseptiques d'usage courant :

— Bleu de méthylène : solution à 1 p.100.

— Eau oxygénée à 10 volumes, à froid.
— Eau de Javel : solution à 1 ou 3 p.100 (à partir de la solution commerciale déjà diluée).
— Solution de Dakin au 1/10.
— Ether pur.
— Mercurochrome, solution du commerce.
— Permanganate de potassium : solution à 1 p.100.
— Sulfamides (poudre).
— Antibiotiques (poudre).

Traitement chirurgical indispensable lors de plaies profondes ou délabrantes.

Se servir de solutions tiédies à 40°C, sauf pour les ammoniums quaternaires qui seront utilisés à une température inférieure à 35°C.

Dans le cas des muqueuses, solutions chaudes (45°C) d'antiseptiques peu irritants ; eau oxygénée à 5 volumes, ammonium quaternaire à 0,3 p.100, permanganate de potassium à 1 ou 2 p.1000, sulfamides et antibiotiques en poudre.

2.6. Cuirs et peaux provenant d'animaux malades

Il y a lieu de faire une place à part aux peaux provenant d'animaux atteints de charbon.

— Peaux provenant d'animaux atteints de maladies infectieuses : **désinfection**.
— Peaux provenant d'animaux vivant dans un élevage, ou un troupeau où sévit le charbon : **désinfection**.
— Peaux provenant d'animaux reconnus atteints du charbon :
destruction : soit par : enfouissement avec de la chaux,
ou mieux : incinération.

PROCÉDÉS PRATIQUES DE DÉSINFECTION

Pickelage
Chlorure de sodium 10 p.100
Acide chlorhydrique 2 p.100
Y laisser les peaux 24 heures
les cuirs 48 heures

Ammonium quaternaire
Solution de 0,35 à 0,5 p.100
Durée du bain : 4 heures

3. TECHNIQUES DE DESTRUCTION DES CADAVRES

a) **Grands animaux**

En cas de maladie contagieuse, éviter tout écoulement de liquides organiques. Pour cela boucher les orifices naturels avec du coton imbibé de sublimé à 1 p.1 000.

— Préparer une fosse de 2 m de profondeur située à plus de 400 m de toute habitation.

— Placer de la chaux vive au fond et, après avoir entaillé la peau avec un fer rouge, basculer l'animal dessus.
— Recouvrir l'animal d'une épaisse couche de chaux vive.
— Verser de l'eau et n'enterrer le cadavre qu'après 24 heures. En un mois, il ne reste que le squelette.
— Désinfecter avec soin tout ce qui aura servi au transport.

b) **Petits animaux**

L'incinération présente le meilleur moyen de s'en débarrasser à condition d'être loin des habitations : arroser d'essence ou de gas oil et laisser brûler.

Ne pas omettre de se renseigner avec précision sur les mesures légales en matière de désinfection : variables selon les pays et applicables dans des conditions déterminées.

Pour l'exportation des produits d'origine animale, des mesures spéciales sont nécessaires. Se renseigner auprès des services douaniers du pays importateur.

II

SOINS À DONNER ET HYGIÈNE DES ANIMAUX DE TRAIT

1. INCIDENCE DE LA CULTURE ATTELÉE SUR LA PATHOLOGIE DU BÉTAIL

1.1. Le surmenage

Le surmenage causé par un travail trop intense a pour résultat un amoindrissement de la résistance physique, ce qui rend l'organisme plus sensible aux maladies. C'est ainsi, par exemple, que des bovins trypanotolérants, vivant en milieu infesté par les trypanosomiases, peuvent, sous l'effet de la fatigue et du surmenage, être affectés par la maladie.

Le surmenage a en outre une action directe sur l'organisme : amaigrissement, faiblesse, pouvant aller jusqu'à la mort par épuisement.

1.2. Les transports d'animaux

La culture attelée suscite des transferts d'animaux des régions d'élevage vers les régions agricoles. Les exemples sont nombreux : N'damas au Sénégal, N'damas du Mali en Côte d'Ivoire, animaux de Côte d'Ivoire et de Guinée en République Centrafricaine, etc.

Ces déplacements peuvent avoir pour conséquence :

— un changement dans le mode de vie de l'animal : passage de l'élevage traditionnel extensif à la semi-stabulation des bœufs au travail.

Pendant cette période d'adaptation il arrive que les animaux ne mangent pas, maigrissent, deviennent craintifs, etc.

— sur le plan sanitaire, nous l'avons vu, ces animaux peuvent transmettre des

maladies, comme par exemple les zébus venant du Sahel qui introduisirent la péripneumonie en zone guinéenne.

Ces changements ont souvent pour conséquence une recrudescence du parasitisme.

Pour éviter les *aléas inhérents aux transferts de reproducteurs, deux techniques* sont maintenant de plus en plus souvent employées :

La première, *l'insémination artificielle*, est, en Afrique, pratiquée dans les centres de recherche et dans quelques zones péri-urbaines, à vocation laitière (Kenya, Madagascar). De bons résultats techniques exigent que certaines conditions soient réunies, notamment de bonnes communications et télécommunications, du personnel qualifié et une maîtrise satisfaisante des femelles à inséminer.

La seconde, *le transfert d'embryons* est encore plus sûre au plan sanitaire, mais plus exigeante en ce qui concerne l'environnement matériel et la technicité des opérateurs. Aussi, malgré le vif engouement qu'elle suscite, elle n'a connu que de rares applications en Afrique (ILRAD et CRTA), dans des contextes où la très haute qualification requise était atteinte.

Ce sont les raisons pour lesquelles, chaque fois que cela sera possible, il faudra utiliser les animaux disponibles sur place.

1.3. Les accidents du travail

Ils sont essentiellement dus à une mauvaise conduite de l'attelage ou à un harnachement défectueux.

Beaucoup de blessures sont dues à de mauvais traitements (coups), contusions, plaies, piqûres... les plaies de harnachement sont surtout fréquentes au garrot, à la base des cornes, aux oreilles, au passage des sangles. Les blessures de contention sont dues à une traction trop forte de l'anneau nasal au cours du travail, à l'emploi de corde pour entraver les pieds des animaux au repos.

2. HYGIÈNE

Certains principes élémentaires d'hygiène concernant les animaux de trait doivent être respectés :

— respect du repos pour permettre à l'animal de se nourrir ou de ruminer ;
— alimentation de bonne qualité et abreuvements réguliers, à heures fixes ;
— soins corporels — pansage ;
— entretien du harnachement ;
— propreté de l'habitat : aération, sol, litière.

En Afrique, en général le cheval est bien soigné. Par contre, les régions où les paysans ont acquis l'habitude de bien soigner leurs bœufs sont encore trop peu étendues.

2.1. Travail et repos

Le bœuf de trait travaille en moyenne 4 à 5 heures par jour. Il faut éviter les heures trop chaudes de la journée.

Le reste du temps, consacré au repos et à l'alimentation, l'animal doit être placé à l'ombre, soit à l'étable, soit sous un arbre. Il n'est pas recommandé d'attacher un animal dans un pâturage en plein soleil.

2.2. Alimentation (voir chapitre XVI)

2.3. Soins corporels

2.3.1. PANSAGE

Le faire à sec (chevaux surtout) avec une brosse dure et une étrille, compléter par un brossage avec une brosse tendre.

En pays tropicaux, surtout pour les bovins, on peut laver et brosser les animaux (pansage à l'anglaise) avec de l'eau et du savon, rincer abondamment, laisser sécher et brosser. Il faut panser au moins une fois par semaine.

2.3.2. SOINS DES ONGLONS

Eviter que des cailloux, ou de la terre, ne reste entre les onglons (bœuf) ou dans le sabot (cheval). Curer avec un outil spécial ou un morceau de bois. Eviter les crochets pointus ou couteaux acérés.

Dans certains cas, (animaux travaillant en terrain dur, animaux à corne molle ou cassante) il faut ferrer l'animal.

2.3.3. SOIN DE LA CRINIÈRE (cheval)

Peigner ou tondre la crinière.

2.4. Hygiène du harnachement

Dans la fabrication des objets du harnachement, il faudra éviter les angles vifs, les clous ou vis qui dépassent, les coutures trop grossières, bref tout ce qui pourrait blesser l'animal.

Les harnais doivent être maintenus en bon état de propreté en les nettoyant ou lavant périodiquement et, par la même occasion, ils seront désinfectés avec une solution d'eau de Javel à 3 p.100.

2.5. Hygiène du logement

C'est en stabulation que les animaux risquent le plus de se contaminer.

Il faut éviter le surpeuplement des étables et les maintenir propres par :

— des nettoyages et des désinfections périodiques ;
— le renouvellement des litières ;
— le drainage des purins ;
— la lutte contre les insectes.

3. PROPHYLAXIE DES MALADIES

Voir ci-après :

IV - Maladies parasitaires des mammifères domestiques ;
V - Maladies contagieuses des animaux domestiques.

III

TEMPÉRATURES INTERNES DES ANIMAUX DOMESTIQUES

NORMES DES RÉGIONS TEMPÉRÉS

Cheval — âne		37,5-38°C
Bovidés :	6 premières semaines	voisine de 40°C
	vers 6 mois	39-40°C
	vers 9 mois	38,8-39,5°C
	au-dessous de 1 an	38-39°C
	adultes	38,6°C
Chameau		37-38°C
Mouton et chèvre		39-40°C
Porc		39-39,5°C
Volailles		40,5-42°C

Ces températures peuvent être sujettes à variations en fonction du climat. C'est ainsi que Gillain, au Zaïre, dans une température ambiante de 37°C, relève les températures moyennes suivantes :

Bétail zébu des Indes	38°C
Bétail Afrikander	38,8°C
Hereford	40°C
Shorthorn ou Durham	40,5°C
Aberdeen Angus	41°C

IV

MALADIES PARASITAIRES DES MAMMIFÈRES DOMESTIQUES

A. — REMARQUES GÉNÉRALES

1. - Les maladies parasitaires sévissent avec une particulière intensité dans les zones intertropicales dont les facteurs climatiques (chaleur, humidité) favorisent le développement et l'entretien des parasites. Ces parasites peuvent être également hébergés par les animaux sauvages, chez lesquels les moyens d'action thérapeutique ou prophylactique n'ont pas de prise.

Les parasitoses sont en outre aggravées par les carences alimentaires et le manque d'hygiène générale. En période de disette, pendant la saison sèche, les animaux sous-alimentés sont victimes d'un polyparasitisme intense dû à la fois aux vers parasites (helminthes), aux protozoaires (trypanosomes, piroplasmes,

theileries, coccidies, etc.), aux arthropodes parasites (tiques, insectes), aux champignons microscopiques. Ce polyparasitisme ne fait qu'ajouter au mauvais état d'entretien des animaux pour les rendre encore plus réceptifs. Les jeunes en particulier, qui ont des besoins plus élevés que les adultes, sont très exposés aux carences alimentaires et seront de ce fait plus sévèrement frappés par les maladies parasitaires.

Les méthodes de traitement et de prophylaxie de ces affections devront donc toujours être complétées par un régime alimentaire convenable et le respect des principes d'hygiène générale : hygiène des pâturages (éviter le surpeuplement et le surpâturage, pratiquer la rotation des pâtures, séparer les jeunes des adultes), hygiène de l'abreuvement, hygiène du sevrage.

2. - Dans la grande majorité des cas, les diverses parasitoses qui sont énumérées ci-après. ne se rencontrent pas à l'état pur. Le plus souvent en effet, plusieurs espèces différentes d'helminthes, auxquelles peuvent s'ajouter divers protozoaires, parasitent le même animal. Il importe donc, en matière de traitement des maladies parasitaires, d'utiliser chaque fois que la chose est possible, des médicaments ayant un large spectre d'action. On trouvera, dans le tableau I, (page 1234) une liste des *principaux médicaments polyvalents* avec leurs indications chez les différentes espèces animales.

Par contre, les associations médicamenteuses (utilisation simultanée de médicaments différents chez un même animal) ne sont pas recommandables sans l'avis d'un vétérinaire en raison des risques d'intoxication qui peuvent se produire.

B. — PRINCIPALES MALADIES PARASITAIRES

1. HELMINTHOSES GASTRO-INTESTINALES ET HÉPATIQUES

1.1. Bovins - Ovins - Caprins

1.1.1. ASCARIDIOSE

Sévit tout particulièrement chez les veaux, de la naissance à 6 mois environ. Due à la présence dans l'intestin grêle d'ascaris, vers de grande taille (18 à 25 cm sur 4 à 6 mm), à corps cylindrique, blanchâtre. L'ascaridose est facilement transmissible et plus fréquente dans les zones soudano-guinéennes que dans les zones sahéliennes. Elle constitue la principale affection des veaux dans les élevages sédentaires, les fermes, les stations expérimentales. Elle a une incidence plus faible chez les éleveurs nomades.

Symptômes :

Ralentissement de la croissance, inappétence, mauvais état général, violentes coliques, diarrhée, haleine à odeur de beurre rance.

Traitement :

— Adipate de pipérazine (Adoxan, Coopane, N.D.) : 0,30 g à 0,50 g par kg.
— Dithiocarbamate de pipérazine (Choisine, Carzine, Polyver, N.G.) : 0,15 g par kg.
— Tétramisole (Anthelvet, Némicide, Vacephen, N.D.) : 10 mg par kg.
— Thiabendazole (Thibenzole, Némapan, N.D.) : 100 mg par kg.

Prophylaxie : traitement régulier des femelles en gestation ; traitement systématique des veaux à l'âge de 3 semaines, à la pipérazine, seul médicament actif contre les larves d'ascaris. Rotation des pâturages. Nettoyage des étables à veaux et enlèvement quotidien des litières. Isolement des veaux de moins d'un an.

1.1.2. FASCIOLOSE HÉPATO-BILIAIRE

Due à la présence, dans les canaux biliaires des bovins et des ovins, de douves, vers plats, allongés, brun rougeâtre. Le cycle évolutif passe par des mollusques aquatiques (lymnées) vivant en eaux stagnantes (mares permanentes, marécages, lacs). L'infestation des ruminants se produit au cours de la saison sèche dans les pâturages de bas-fonds découverts peu à peu par la baisse des eaux.

Symptômes : on distingue :

— **une fasciolose aiguë**, se manifestant pendant la saison sèche, fréquente chez le mouton, plus rare chez le bœuf et le zébu. Elle est provoquée par le passage des jeunes douves à travers le foie. Chez le mouton, l'évolution est rapide et la mort survient en quelques jours ;

— **une fasciolose chronique**, qui apparaît au début de la saison des pluies et se traduit par de l'anémie, de l'ictère, de l'amaigrissement, des œdèmes. Elle est due à l'installation dans les canaux biliaires, de douves adultes hématophages et irritantes.

Traitement : le traitement de la fasciolose aiguë sera effectué au milieu de la saison sèche et celui de la fasciolose chronique au cours de la saison des pluies.

— Nitroxynil (Dovenix, N.D.) : injection sous-cutanée : 10 mg par kg soit 1 ml pour 25 kg (fasciolose chronique). Doubler la dose pour le traitement des jeunes douves de 6 à 8 semaines (ovins et bovins).
— Bitin S (Disto-5, N.D.) : voie buccale : ovins : 40 mg par kg ; bovins : 30 mg par kg.
— Hilomid (Mitényl, N.D.) : voie buccale : ovins : 30 à 60 mg par kg, selon l'âge des parasites : bovins : 50 mg par kg.
— Rafoxanide (Ranide, N.D.) : voie buccale : ovins : 7,5 mg par kg (jeunes douves) ou 5 mg par kg (fasciolose chronique) ; bovins : 10 à 20 mg par kg (jeunes douves) ou 7,5 mg par kg (fasciolose chronique).

Prophylaxie : elle doit associer :

— des traitements à des dates judicieusement choisies visant à la destruction des jeunes douves ;
— la destruction des mollusques vecteurs (lymnées) ;
— l'aménagement des points d'abreuvement (abandon des mares, fossés ; installation d'abreuvoirs entourés d'aires cimentées).

1.1.3. PARAMPHISTOMIDOSES

Provoquées par la présence, dans le rumen, le réseau, parfois la caillette et le duodénum, de vers à corps épais, cylindroconique, pourvus d'une ventouse buccale et d'une ventouse postérieure. Les infestations sont souvent massives. Le cycle évolutif passe par des mollusques d'eau douce (bulins, planorbes) vivant dans les mares (même temporaires), les rizières, les cours d'eau à courant très faible, les bras morts, etc.

Symptômes : amaigrissement progressif avec anémie, surtout chez les jeunes de 1 à 2 ans, entérite parfois hémorragique.

Traitement :

— Bitin S (Disto-5, N.D.) : bovins : 30 mg par kg.
— Resorcantel (Térénol, N.D.) : bovins et ovins : 65 mg par kg.
— Hilomid (Mitényl, N.D.) : bovins, 50 mg par kg ; ovins : 30 mg par kg.

Prophylaxie : aménagement des points d'abreuvement. Destruction des mollusques hôtes intermédiaires.

1.1.4. SCHISTOSOMOSES (bilharzioses)

Dues à la présence, dans les veines mésentériques et le système porte, de vers distomes cylindroïques, dont le cycle évolutif passe par des mollusques d'eau douce (bulins), qui vivent dans les marigots stagnants ou les cours d'eau à courant très faible. Les infestations sont en général plus massives dans les zones sèches (steppes, savanes) et sont favorisées par la concentration du bétail aux abords des grands fleuves.

Symptômes : amaigrissement, cachexie, dérèglement intestinal, mort dans un état de misère physiologique extrême.

Traitement : le traitement spécifique est difficilement réalisable. Chez les moutons, qui sont les plus sensibles à ces affections, utiliser :

— Métrifonate (Néguvon, N.D.) par voie buccale : jour 1 : 60 mg par kg : jour 4 : 100 mg par kg : jour 7 : 120 mg par kg ; jour 10 : 100 mg par kg ; jour 13 : 120 mg par kg ; jour 16 : 100 mg par kg ; jour 19 : 120 mg par kg.
— Nitridazole (Ambilhar, N.D.) par voie buccale : 25 mg par kg pendant 5 jours ou 10 mg par kg pendant 10 jours.

Prophylaxie : c'est la seule méthode pouvant donner des résultats. Elle associe l'hygiène de l'abreuvement au drainage ou à l'assèchement des marécages et à la destruction des mollusques vecteurs.

1.1.5. STRONGYLOSES GASTRO-INTESTINALES

Ensemble d'helminthoses provoquées par la présence, dans la caillette, l'intestin grêle, le colon et le cæcum, de vers parasites de petite taille (inférieure à 40 mm) et comprenant :

— **les trichostrongylidoses** de la caillette et de l'intestin grêle ;
— **les ankylostomidoses** de l'intestin grêle. Les larves infectantes des ankylostomes passent à travers la peau et effectuent des migrations dans les poumons avant d'atteindre le tube digestif ;
— **les œsophagostomoses**, essentiellement dues à la présence, dans la paroi intestinale, de larves d'œsophagostomes qui y produisent des nodules réactionnels.

Ces différentes affections sont le plus souvent associées. Ce sont des maladies de pâturage, principalement des régions humides, qui affectent plus particulièrement les jeunes animaux. Les petits ruminants, et surtout le mouton, sont toujours plus sévèrement infestés que les bovins.

Symptômes : diarrhée rebelle aboutissant à un état d'anémie et de cachexie ou anémie primitive souvent sévère.

Traitement :

— Thiodiphénylamine (Phénothiazine, N.D.) : voie buccale : bovins : 200 mg

par kg ; ovins : 400 à 500 mg par kg. Traiter pendant 3 jours ; renouveler 2 semaines plus tard. La phénothiazine peut provoquer des phénomènes d'intolérance et des accidents de photosensibilisation. A n'utiliser qu'avec prudence.

— Béphénium (Alcopar, Buternal N.D.) : 200 à 350 mg par kg en capsules de gélatine ou en solution à 10 p.100 (voie buccale).
— Thiabendazole (Thibenzole, Némapan, Coglazol, N.D.) : médicament polyvalent : 100 mg par kg (voie buccale) chez les bovins, ovins, caprins ; 300 mg par kg chez les camélidés.
— Tétramisole, sous forme injectable à 3 p.100 (Anthelvet, N.D.) ou en comprimés (Vadéphen, N.D.). Médicament très polyvalent également actif sur les strongles respiratoires. Bovins : 10 à 15 mg par kg ; ovins : 12 à 15 mg par kg (voie sous-cutanée) ; 15 mg par kg (voie buccale, œsophagostomoses larvaires).
— Parbendazole (Helmipan, Niverzol, Parbentec, Vurmix, N.D.), voie buccale : 15 à 30 mg par kg.
— Pyrantel (Exhelm, N.D.) bovins : 15 mg par kg ; ovins : 25 mg par kg (voie buccale)
— Méthyridine (Promintic, N.D.), injection sous-cutanée : 1 ml pour 5 kg sans dépasser 60 ml (bovins). Médicament à manipuler avec prudence (risques d'abcès au point d'injection : action irritante sur les muqueuses oculaires et nasales ; produit inflammable dissolvant le caoutchouc et les plastiques).
— Certains médicaments actifs contre les douves peuvent également être utilisés : Nitroxynil (Dovenix) à 10-20 mg par kg ; Bitin S (Disto-5) ; Hilomid (Mitényl).

Prophylaxie : dépistage de sujets infestés et traitement de tout le troupeau dans le mois qui précède la saison des pluies et dans le mois qui suit la fin de celle-ci. Rotation des pâturages (repos des parcs d'au moins deux mois). Stérilisation des pâturages infestés (drainage, épandage d'agents chimiques tels que la cyanamide calcique, le sulfate de fer, autour des points d'abreuvement).

1.1.6. TENIASIS

Dues à la présence, dans l'intestin grêle des bovins et ovins, de cestodes ou ténias, vers plats annelés. L'infestation est réalisée au pâturage par l'ingestion d'acariens microscopiques, hôtes intermédiaires, qui vivent dans le sol où ils peuvent être très nombreux.

Symptômes : peu pathogènes. Chez les jeunes, et surtout les moutons, anémie et retard de croissance.

Traitement :

a) **Ovins**

— Arséniate d'étain (Etanarsan, N.D.) en capsules de gélatine : 250 à 350 mg par animal (animaux à jeun depuis la veille à midi).
— Arséniate de plomb : 1 g par mouton (pas de diète préalable). Ne pas traiter les animaux en mauvais état.
— Niclosamide (Yomésane, Mansonil, N.D.) : 75 à 150 mg par kg (pas de diète préalable).
— Cetovex (N.D.) : 50 à 100 mg par kg, sans diète préalable.

b) **Bovins**
— Bitin S (Disto-5, N.D.) : 30 mg par kg.
— Niclosamide (Yomésane, Mansonil, N.D.) : 50 mg par kg.

1.2. Equidés

1.2.1. ASCARIDIOSE

Affecte les poulains dès le 2e mois de la vie. Due à des ascaris de très grande taille (30 à 40 cm).

Symptômes : (infestations importantes) : ralentissement de la croissance, anémie légère, émission de crottins ramollis, pâteux, ou diarrhée, bâillements, ballonnement intestinal et borborygmes, coliques. Complications possibles : obstruction intestinale, perforation de l'intestin, toxémie avec fièvre et diarrhée fétide, symptômes nerveux (contractions tétaniques, crises d'excitation).

Traitement :

Adipate de pipérazine : 250 mg.

Dithiocarbamate de pipérazine : 100 à 150 mg.

Dichlorvos (Equigard, N.D.) : 33 mg par kg (médicament polyvalent également actif contre les oxyures et les strongles).

Prophylaxie : semblable à celle de l'ascaridose des veaux. Traitement régulier, mensuel, des poulains jusqu'à 4 mois, puis à 1 an.

1.2.2. HABRONÉMOSES GASTRIQUES

Dues à la présence dans le cul-de-sac droit de l'estomac des chevaux, ânes, mulets, d'habronèmes, vers de 8 à 35 mm de long blanchâtres, dont le cycle évolutif passe par les mouches domestiques et les stomoxes. Maladies généralement bénignes, mais les animaux infestés constituent des sources de parasites entretenant des enzooties parfois graves d'habronémoses cutanées (voir à parasitoses cutanées page 1228).

Traitement :

— Tétrachlorure de carbone (Didakol) : 5 ml pour 100 kg, dans un quart de litre d'huile de ricin. Diète complète le jour du traitement. Ne pas utiliser chez les animaux en mauvais état.

Prophylaxie : destruction des larves de mouches et de stomoxes et des larves d'habronèmes par enfouissement des couches superficielles du fumier au sein de la masse de fumier (stérilisation par la méthode biothermique). Destruction des mouches et stomoxes adultes par pulvérisation insecticide.

1.2.3. OXYUROSE

Provoquée par des vers blanc grisâtre de 9 mm à 4 cm à extrémité postérieure effilée formant une queue plus ou moins longue vivant dans le gros intestin (cæcum, colon, rectum).

Symptômes : caractérisés essentiellement par un prurit anopérinéal, provoqué par la présence, au niveau de l'anus, de femelles d'oxyures fécondées. Les démangeaisons consécutives entraînent des lésions de grattage et une dépilation, souvent importante, de la base de la queue.

Traitement :

— Dichlorvos (Equigard) : 33 mg par kg.

— Thiodiphénylamine (Phénothiazine) : 30 mg par kg pendant 5 jours (active surtout sur les jeunes oxyures).
— Adipate de pipérazine : 200 mg par kg (action sur les oxyures adultes).
Il y a intérêt à associer les deux médicaments (Adipaphène, N.D.)
— Thiabendazole : 50 à 100 mg par kg.
— Lavements d'eau salée à 10 p.100 ou de sulfate de cuivre à 1 p.100.
Prophylaxie : bonne hygiène des écuries.

1.2.4. STRONGYLOSES INTESTINALES

Dues à la présence dans le colon et le cæcum de vers rectilignes de 15 à 55 mm, brun rougeâtre, dont les larves accomplissent des migrations soit dans la muqueuse de l'intestin, soit dans divers tissus et organes. Ce sont des maladies de pâturages des régions humides d'allure chronique, à évolution lente, accompagnées de troubles digestifs. Les larves au cours de leurs migrations provoquent des désordres variés, caractérisés essentiellement par des thromboses des artères carotides, iliaques, spermatiques, intestinales, occasionnant des anévrismes qui peuvent se rompre.

Traitement :
— Dichlorvos (Equigard) : 33 mg par kg.
— Thiodiphénylamine (Phénothiazine) : 50 mg par kg, 2 jours de suite. A utiliser avec prudence, des phénomènes d'intoxication pouvant se produire.
— Adipate de pipérazine : 150 à 200 mg par kg.
L'association de ces deux médicaments (Adipaphène, N.D.) est préférable.
Prophylaxie : dépistage et traitement des sujets infestés. Hygiène de l'abreuvement. Stérilisation des crottins par la méthode biothermique. Administration continue de phénothiazine, à la dose de 5 mg par kg, à tous les animaux vivant en milieu contaminé.

1.2.5. TRICHOSTRONGYLOSE GASTRIQUE

Due à des vers de très petite taille et très minces, de teinte rosée, siégeant dans le cul-de-sac droit de l'estomac, dans la lumière des glandes gastriques.
Symptômes : peu marqués. Appétit irrégulier, alternatives de diarrhée et de constipation, amaigrissement et anémie dans les cas graves.
Traitement :
— Thiodiphénylamine (Phénothiazine) à fines particules : 50 mg par kg, 2 jours de suite.
Prophylaxie : semblable à celle des trongyloses intestinales.

1.3. Porcins

1.3.1. ASCARIDOSE

Sévit chez les porcelets de 3 à 5 mois ; provoquée par des ascaris de 15 à 30 cm de long, semblables aux ascaris de l'homme.
Symptômes : semblables à ceux décrits chez les équidés. Le rachitisme, le retard de développement, les crises épileptiformes, les convulsions sont en outre très fréquents.
Traitement :
— Adipate de pipérazine : 200 mg par kg.

— Citrate de pipérazine (Dihelmine, N.D.) : 300 mg par kg.

Le dithiocarbamate n'est pas recommandé, les doses efficaces étant élevées, et des phénomènes d'intoxication pouvant se produire.

— Thiabendazole (contre les larves d'ascaris) : 50 g pour 100 kg d'aliment.

— Tétramisole (Vadépehn) : 7,5 mg par kg de poids.

Prophylaxie : hygiène des porcheries. Isolement des truies en gestation et des mères suitées. Administration continue aux porcelets depuis le sevrage jusqu'à 5 mois, d'**Hygromycine B** incorporée à la pâtée à raison de 12 g par tonne d'aliment.

1.3.2. ACANTHOCÉPHALOSE

Due à la présence dans l'intestin grêle de vers de grande taille (jusqu'à 40 cm), cylindriques, blanc rosé, striés transversalement. Le cycle évolutif passe par des coléoptères (scarabées). Cette affection sévit principalement chez les porcs élevés au pâturage ou disposant de terrains de parcours.

Symptômes : effacés. En cas d'infestation massive : retard de croissance, amaigrissement, parfois convulsions chez les porcelets.

Traitement :

Pas de traitement spécifique. Essayer le Tétrachloréthylène (Didakène, N.D.) : 0,1 ml par kg en émulsion à 1 pour 6 dans de l'huile de paraffine, le matin à jeun (diète de 18 heures).

Prophylaxie : destruction des hôtes intermédiaires.

1.3.3. ŒSOPHAGOSTOMOSE

Due à la présence dans le gros intestin de vers de 10 à 15 mm blanchâtres. Sévit aussi bien dans les porcheries qu'au pâturage. Les jeunes y sont plus sensibles que les adultes.

Symptômes : très discrets. Anorexie, constipation puis diarrhée rebelle, amaigrissement.

Traitement :

— Thiodiphénylamine (Phénothiazine) : 100 mg par kg de poids pendant 2 jours. (A utiliser avec précaution. Risques d'intoxication chez le porcelet et les sujets affaiblis).

— Thiabendzazole (Thibenzole, Porthiazole, N.D.) : 50 mg par kg de poids.

— Tétramisole (Némicide, N.D.) : injection sous-cutanée ; porcs de moins de 20 kg : 10 mg par kg de poids ; porcs de plus de 20 kg : 5 mg par kg de poids.

Prophylaxie : hygiène de l'élevage. Stérilisation des sols et locaux (borate de soude, 2 250 g pour 10 m^2).

2. PARASITOSES INTESTINALES COMMUNES À PLUSIEURS ESPÈCES

2.1. Coccidioses

Protozooses affectant les mammifères et les oiseaux. Provoquées par la multiplication, dans les cellules épithéliales du tube digestif (bovins, ovins, porcins, lapins, oiseaux), dans le foie (lapin) ou les reins (oiseaux), de coccidies, parasites endocellulaire microscopiques. La transmission s'effectue par l'intermédiaire d'aliments souillés par les fèces d'animaux parasités.

Symptômes : Entérite hémorragique (diarrhée aqueuse, sanguinolente, avec fausses membranes).

Traitement :

— Mépacrine (Quinacrine, N.D.) : bovins, ovins : 1 g pour 100 kg de poids, par voie buccale, en émulsion dans l'eau, en 2 fois dans la journée (animaux à jeun). Traitement de 2 à 3 jours. Porcins : 10 à 20 mg par kg de poids, pendant 2 à 3 jours consécutifs, en 2 fois, dans la ration.
— Chloroquine (Nivaquine) : bovins :15 mg par kg de poids pendant 3 jours.
— Sulfaides : Sulfadimérazine (Sulfaméthazine, Sulfamézathine, Vertolan), Sulfathiazole (Thiazomide) : bovins, ovins, caprins, porcins : 150 mg par kg de poids pendant 3 jours.
— Diaphénylsulfone (Coccicid, Sulfone) , voie buccale ou injections sous-cutanée ou intramusculaire. Toutes espèces.
— Amprolium : voie buccale, ovins, bovins, caprins :100 mg par kg de poids pendant 4 jours (diète préalable).

Prophylaxie : brûler les animaux morts : désinfecter les locaux ; renouveler fréquemment les litières.

2.2. Strongyloïdoses (anguilluloses)

Helminthoses dues à la présence dans l'intestin grêle des animaux parasités (ruminants, porcs, équidés) de vers allongés et filiformes (2 à 9 mm de long), qui creusent des galeries dans la paroi intestinale. Les parasites infestent leurs hôtes par voie transcutanée et accomplissent une migration pulmonaire avant de s'établir dans l'intestin grêle. Ce sont des affections des pays chauds et humides, de pâturages ou de locaux mal entretenus ; fréquentes chez les animaux jeunes vivant en collectivités surpeuplées (ovins, porcins) où elles prennent une allure contagieuse.

Symptômes : troubles cutanés et respiratoires peu perceptibles. Troubles digestifs caractérisés par une diarrhée jaunâtre ou noirâtre (hémorragie), d'odeur fétide, accompagnés de douleurs abdominales (coliques chez les équidés). Soif vive, amaigrissement, parfois réaction fébrile pouvant simuler une entérite bactérienne.

Traitement :

Les strongyloïdes étant le plus souvent associés aux strongles gastro-intestinaux, utiliser les mêmes produits. Le médicament spécifique des strongyloïdoses est le Thiabendazole (bovins et ovins : 100 mg par kg ; porc : 50 mg par kg).

Prophylaxie : nettoyage régulier des locaux. Enlèvement des litières. Désinfection avec des produits insecticides (lindane à 3 p.100 : 100 g de poudre pur 4 m^2 ; malathion, solution à 4 p.100 : 120 ml par m^2).

2.3. Trichurioses

Helminthoses affectant la plupart des mammifères (à l'exception des équidés). Provoquées par des vers allongés à partie antérieure très mince et partie postérieure beaucoup plus large, localisés dans le cæcum et le colon. Œufs caractéristiques, à deux bouchons polaires (examen coproscopique).

Symptômes : (infestations importantes) : coliques, diarrhée grisâtre souvent

striée de sang, mauvais état général, anémie, troubles de la reproduction (impuissance, stérilité).

Traitement :

Difficile. Le seul médicament spécifique est la méthyridine (Promintic, N.D.) mais ce produit doit être employé avec prudence. Chez le porc, utiliser le silicofluorure de sodium à 1 p.100 dans la pâtée sèche (0,4 kg de pâtée pour un porc de 10 kg).

Prophylaxie : semblable à celle des ascaridioses.

3. HELMINTHOSES RESPIRATOIRES

3.1. Strongyloses respiratoires des ruminants

Dues aux migrations dans les alvéoles pulmonaires, puis à l'installation dans la trachée et les grosses bronches des bovins, des ovins, des caprins, parfois des dromadaires, de vers allongés, blanchâtres, de 5 à 10 cm de long.

Symptômes : maladie d'allure contagieuse caractérisée par une bronchite chronique avec toux, dyspnée, accès de suffocation, jetage fréquent chez les petits ruminants dans lequel on peut trouver des paquets de vers.

Traitement :

— Solution iodo-iodurée faible (iode 1 g ; iodure de potassium 1,5 g ; eau 1 500 g) en injection dans la trachée (bovins : 50 ml ; ovins : 30 ml).
— Méthyridine (Promintic) : bovins : 0,22 ml par kg (dose maximale 60 ml) en injection intrapéritonéale ; ovins, caprins : 0,2 ml par kg (dose maximale 10 ml) en injection sous-cutanée.
— Citrate de diéthylcarbamazine (Carbalène, Dictyomazine, Diétazine, Larvazine, N.D.) : bovins : 20 à 40 mg par kg en injections intramusculaire ou intrapéritonéale pendant 2 à 3 jours ; ovins : jusqu'à 200 mg par kg (injections intramusculaire ou intrapéritonéale) ;
— Tétramizole : 10 à 15 mg par kg en injections sous-cutanée ou intrapéritonéale (Némicide) ou 20 à 25 mg par kg par voie buccale (Anthelvet, Aviver, Vadéphen).

Prophylaxie : maintenir les jeunes de l'année à l'abri du contact avec les sujets infestés. Rotation des pâturages (abandon du pâturage au bout de 4 jours, puis retour à ce pâturage au plus tôt 1 mois après).

3.2. Métastrongylose porcine

Due à la présence, dans les bronches et les bronchiles des porcs infestés, de vers de 15 à 16 mm, blanchâtres, dont le cycle évolutif passe par les vers de terre, chez lesquels les larves peuvent vivre de 1 à 4 ans.

Symptômes : toux rauque, quinteuse, spasmodique. Dyspnée légère. Maladie à évolution lente, chronique.

Traitement :

— Tétramizole : 10 à 15 mg par kg (voie buccale ou injection sous-cutanée).
— Diéthylcarbamazine : injection intramusculaire : 50 à 100 mg par kg 2 fois à 1 semaine d'intervalle.

Prophylaxie : stérilisation des parcs (sulfate de fer en solution à 10 p.100 : 600 g de produit pur pour 100 m² ; D.D.T. ou H.C.H. : 300 à 1000 g pour 100 m²).

Empêcher les vers de terre provenant de l'extérieur de pénétrer dans les parcs assainis en enfonçant, sur le pourtour, des planches à 40 cm de profondeur.

4. PARASITOSES DIVERSES

4.1. Cestodoses larvaires

Les cestodoses larvaires sont des maladies déterminées par des larves de ténias qui se présentent sous la forme de vésicules de dimensions variables, à paroi mince, renfermant un liquide clair. Elles se développent dans diverses parties du corps chez des vertébrés hôtes intermédiaires de ténias adultes parasites de l'homme ou des carnivores. Suivant les affections qu'elles provoquent, on distingue :

4.1.1. CYSTICÉROSE HÉPATICO-PÉRITONÉALE DES LAPINS

Due aux larves d'un ténia du chien. Elles déterminent chez le lapin, des lésions hépatiques et péritonéales, avec présence, sur ces organes, de nombreuses vésicules (cysticerques). Pas de traitement. La prophylaxie est basée sur le traitement des chiens atteints de téniasis et sur la destruction des foies et péritoines infestés des lapins.

4.1.2. CYSTICERCOSES HÉPATICO-PÉRITONÉALES DES RUMINANTS ET DU PORC

Dues aux larves d'un autre ténia du chien et de divers canidés sauvages (chacal). Les cysticerques sont volumineux (5 cm de diamètre jusqu'à la taille d'une pomme), fixés au mésentère et à l'épiploon des bovins, porcins et surtout moutons. Pas de traitement. La prophylaxie est identique à celle de la cysticercose des lapins.

4.1.3. CYSTICERCOSES MUSCULAIRES OU LADRERIES

Dues à la présence, dans les masses musculaires de nombreux mammifères, de larves de divers ténias parasites de l'homme ou des canidés. Les bovins sont infestés par les larves de *taenia saginata*, parasite de l'homme : les porcs et plus rarement les chèvres par les larves de *taenia solum*, autre parasite de l'homme ; les moutons par les larves de *taenia ovis*, parasite du chien ; les camélidés par les larves d'un ténia parasite des hyènes.

La cysticercose est très rarement diagnostiquée sur l'animal vivant, mais est relativement facile à découvrir sur l'animal mort en pratiquant des coupes dans les muscles d'élection. C'est l'un des rôles de l'inspecteur des viandes, chargé à l'abattoir d'éliminer les viandes ladres susceptibles de transmettre le ténia à l'homme. Dans les exploitations où des animaux ladres ont pu être décelés après abattage, tout le personnel doit subir un traitement contre le ténia, et la stérilisation des fèces humains doit être effectuée.

4.1.4. CENUROSE DU MOUTON

Due à la présence, dans les centres nerveux (cerveau, moelle épinière) des

moutons et plus rarement des chèvres, bovins, antilopes, gazelles, de larves d'un ténia du chien.

Symptômes : hyperexcitation, puis dépression, tristesse, perte d'appétit, attitudes anormales (flexion de la tête sur l'encolure), démarche hésitante, incoordonnée, chutes, parfois cécité.

Traitement : aucun.

Prophylaxie : traitement anthelminthique des chiens et stérilisation de leurs fèces. Eviter l'ingestion, par les carnivores, des cervelles des animaux infestés.

4.1.5. HYDATIDOSE DES BOVIDÉS, CAMÉLIDES ET PORCINS

Due à la présence dans le foie et le poumon des animaux infestés, de larves ayant le volume d'une noix à celui d'une orange, d'un ténia parasite des canidés (chiens, chacal, parfois hyène). Pas de traitement. Prophylaxie semblable à celle de la cysticercose des lapins.

Maladie également transmise à l'homme par le chien, très grave dans certains cas (échinoccocose hépatique, pulmonaire, etc.).

4.2. Filarioses

Helminthoses provoquées par la présence, chez la plupart des vertébrés, de vers très allongés (filiaires), localisés selon les espèces de parasites et la nature de leurs hôtes, dans des tissus et organes très divers : tissu conjonctif sous-cutané ou sous-muqueux, ligaments, tendons, séreuses, globe oculaire, cœur, vaisseaux sanguins, vaisseaux lymphatiques.

Le cycle évolutif passe par des arthropodes piqueurs (moustiques, simulies, cératopogonidés, chrysops).

Suivant la localisation du parasite, on distingue :

— **des filarioses de la peau et du tissu conjonctif**, maladies bénignes affectant le cheval, le bœuf, le chien ;

— **des filarioses des tissus fibreux et des ligaments** (= onchocercoses) : ligament suspenseur du boulet chez le cheval ; ligament cervical, grasset, aorte chez les bovins ;

— **des filarioses péritonéales et oculaires** du cheval, du bœuf, du mouton, du dromadaire, du chien ;

— **des filarioses de l'appareil cardio-pulmonaire du chien**, affection grave provoquant amaigrissement, anémie, ascite, essoufflement et entraînant généralement la mort.

Traitement :

La plupart des filarioses sont des découvertes d'abattoir. Lorsque le diagnostic peut être posé (découverte de microfilaires dans le sang), utiliser le diéthylcarbamazine.

Prophylaxie : destruction des insectes vecteurs.

4.2. Myiases

Provoquées par la présence de larves d'insectes qui vivent en parasites dans le corps des animaux. On peut distinguer, suivant la localisation des larves :

— des **myiases des plaies et des muqueuses** ;

— des **myiases hypodermiques** (vers de Cayor) ;

— des **myiases cavitaires** dues à de grosses larves (œstres) qui vivent dans

les cavités naso-œsophagiennes des moutons, des antilopes, des dromadaires. Provoquent des rhinopharyngites avec éternuement, jetage, parfois troubles de la locomotion ;

— des **myiases gastro-intestinales** dues à des larves parasites du tube digestif (chevaux, ânes) et pouvant entraîner des pertes d'appétit, amaigrissement, parfois perforation de l'estomac.

Traitement :

a) **myiases des plaies et muqueuses, myiases hypodermiques** : nettoyage et antiseptie des plaies. Pulvérisation d'insecticides phosphorés à base de roténone.

b) **myases cavitaires** (œstroses) : difficile.Introduire dans les narines un mélange de sulfure de carbone et d'huile minérale à parties égales.

— Diméthoate : mouton : 25 mg par kg de poids en injection sous-cutanée. Repos consécutif, à l'abri du soleil, de 24 heures.
— Trichlorphon (Néguvon) : voie buccale : mouton : 70 à 80 mg par kg de poids (risques d'intoxication).

c) **myiases gastro-intestinales** : équidés :

— Sulfure de carbone en capsules de gélatine (diète le jour qui précède le traitement).
— Trichlorphon (Néguvon) : 25 à 75 mg par kg de poids, dans l'alimentation ou à la sonde œsophagienne.
— Dithiocarbamate de pipérazine : 0,05 g par kg, dans l'aliment.

Prophylaxie : protection contre les insectes. Destruction des insectes.

4.4. Thélazioses oculaires

Helminthoses dues à la présence, à la surface de la conjonctive et dans les culs-de-sac conjonctivaux, de vers de 7 à 15 mm de long, blanc grisâtre, dont le cycle évolutif passe par des mouches qui s'infectent en suçant les larmes. Les bovins, ovins, camélidés, équidés peuvent être parasités..

Symptômes : conjonctivite d'un seul ou des deux yeux, larmoiement puis, en l'absence de traitement, kératite, ulcération de la cornée, parfois perte de l'œil. L'examen de l'œil révèle la présence de vers à la surface de la conjonctivite.

Traitement :

— Diéthylcarbamazine, solution à 2 p.1000, en instillation dans l'œil (0,5 à 1 ml).
— Ivermectine (Ivomec N.D. Herck Sharpe et Dhome), il s'agit d'un anthelminthique quasi total injectable qui élimine tous les parasites à l'exception des trématodes (douve). L'ivermectine est un antibiotique produit par la fermentation de *streotomyces avermitilis* utlisé sous forme de solutés injectables, de solution buvable et de pâte.

La posologie est de 0,2 mg/kg par voie sous-cutanée ou orale chez les ruminants et les équidés, 0,3 mg/kg chez le porc. On constate un effet rémanent d'environ trois semaines.

Prophylaxie : traitement des individus infestés. Destruction des mouches.

5. PARASITOSES CUTANÉES

5.1. Gales ou acarioses

Maladies de la peau, très contagieuse, favorisées par la malpropreté, les mau-

vaises conditions d'hygiène. Provoquées par la multiplication dans le derme, d'acariens microscopiques. Affectent tous les animaux domestiques (mammifères et oiseaux). Peuvent être généralisées ou localisées aux oreilles (otacariose du chien, du chat, du lapin, de la chèvre) autour du nez et des lèvres (gales du museau du mouton) aux membres (gale des pattes des volailles). Caractérisées par un prurit intense, des lésions de grattage, des croûtes jaunâtres et des dépilations.

Traitement :

Nourriture saine et abondante, tonte, ramollissement des croûtes avec de l'huile ou de la vaseline, puis lavage à l'eau tiède et frictions vigoureuses à la brosse ; bains insecticides ou pulvérisations insecticides (voir tableau II : Chlordane, Coumafos, Crésylol, Lindane, Malathion, Toxaphène, Trichlorphon).

Prophylaxie : isolement des animaux atteints. Désinfection des locaux, écuries, étables, poulaillers, des objets de pansage et de harnachement. Brûlage des litières. Les peaux, poils et laines provenant d'animaux atteints de gale doivent être désinfectés avant la vente. Les animaux contaminés ne peuvent être vendus que pour la boucherie.

5.2. Habronémoses cutanées

Affections parasitaires de la peau des équidés, non contagieuses, dues à la présence au niveau du tégument et le plus souvent sur une plaie préexistante, de larves d'habronèmes ; caractérisées par le développement de plaies bourgeonnantes, granuleuses, rebelles à la cicatrisation, très prurigineuses et à récidives annuelles. Transmises par l'intermédiaire de divers muscidés (mouche domestique, stomoxes).

Traitement :

Curetage des granulations. Injections traçantes d'une solution de permanganate de potassium, applications de pommade au Novarsénobenzol, badigeonnages avec une solution d 'acide chromique.

Prophylaxie : protection des plaies contre les mouches. Destruction des mouches. Destruction des habronèmes adultes. (Cf. Habronémoses gastriques).

5.3. Teignes

Très contagieuses. Dues à un champignon parasite. S'observent chez les mammifères et les oiseaux (favus de la crête).

Symptômes : chez les mammifères, dépilations circulaires, farineuses, non prurigineuses.

Traitement :

Lavage au savon. Application de teinture d'iode ou de vaseline iodée, ou de préparations à base d'acide undécinilique (técylène, dartex, myocolinium, mycospray). Administration par voie buccale de Criséofulvine, antibiotique antifongique (Carnivores : 25 mg par kg pendant 1 à 1,5 mois).

Prophylaxie : isolement et traitement des malades, désinfection des objets de pansage.

6. PARASITES DU SANG ET DES CELLULES DU SYSTÈME RÉTICULO-ENDOTHÉLIAL

6.1. Anaplasmose

Affecte essentiellement les bovins. Due à un protozoaire microscopique parasite des hématies (globules rouges du sang). Transmise par des tiques (*Boophilus*). Une forme bénigne, due à *A. centrale*. Une forme grave, due à *A. marginale*, caractérisée par de l'hyperthermie, une anémie intense, de l'ictère sans hémoglobinurie. Souvent associée à une piroplasmose ou une theiériose.

Traitement : pas de traitement efficace.

Prophylaxie : destruction des tiques. Prémunition par inoculation d'une souche peu virulente d'*Anaplasma centrale.*

6.2. Cowdriose (voir heart water, p. 1247)

6.3. Leishmaniose du chien

Provoquée par un protozoaire microscopique (leishmanie) parasite des cellules du système réticuloendothélial et des leucocytes. Caractérisée cliniquement par deux formes : une forme cutanée (= boutons d'Orient) et une forme viscérale (fièvre, amaigrissement, dépilation et sécheresse de la peau, kératite interstitielle, splénomégalie, hépatomégalie, allongement anormal des griffes). Transmise par des insectes (phlébotomes). Les rongeurs sauvages peuvent être réservoirs de virus.

Traitement :

— Antimoniate de N. méthyglucamine (Glucantinme N.D.). 100 mg par kg pendant 10 à 12 jours consécutifs. Renouveler 4 à 6 semaines plus tard.

— Pentamidine (Lomidine N.D.) : cure de 15 à 20 injections tous les 2 ou 3 jours : 2 mg par kg au début. Augmenter la dose jusqu'à 4 mg par kg.

Prophylaxie : destruction des rongeurs sauvages réservoirs de virus. Destruction des phlébotomes.

6.4. Babésioses (piroplasmoses)

Affectent les mammifères et les oiseaux. Provoquées par la multiplication dans les hématies, de protozoaires microscopiques. La transmission s'effectue par l'intermédiaire de tiques (*Boophilus* chez les bovins, *Rhipicephalus* chez les moutons, *Dermacentor*, *Hyalomma* et *Rhipicephalus* chez le cheval).

Symptômes : hyperthermie, anémie, ictère, hémoglobinurie.

Les races bovines locales ne présentent que rarement des formes cliniques (sauf en cas d'affection intercurrente). Les races importées y sont beaucoup plus sensibles.

Traitement :

— Lomidine : injections intramusculaires. Cheval, ruminants : solution à 5 p. 100 : 1 ml pour 20 kg ; chien : solution à 2,5 p.100 : 1 ml par kg.

— Acaprine : injections sous-cutanées (solution à 5 p.100) ; bovins : 1,5 à 2 ml pour 100 kg ; moutons : 0,2 ml pour 10 kg ; chevaux : 0,75 à 1,2 ml pour 100 kg : porc : 2 ml pour 100 kg.

— Amicarbalide (Pirodia) : injections intramusculaires : bovins, ovins, équins : 5 à 10 mg par kg (1 ml de solution pour 25 à 35 kg de poids).
— Phénamidine (Piruedive, Dampron) : injection sous-cutanée ; bovins : 13,5 mg par kg (solution à 40 p.100) ;
chien : 15 mg par kg (solution à 1,5 pour 100).
— Diminazène (Bérénil) : injections intramusculaires (solution à 7 p.100) ; tous animaux : 3,5 mg par kg.
— Imidocarbe (Carbesia) : injections intramsuculaires (solution à 12 p.100) : 1-2 mg/kg (curatif), 2 mg/kg (préventif).

Prophylaxie : destruction des tiques ; vaccination du bétail sensible.

6.5. Theilérioses

Dues à la multiplication, dans les hématies et les cellules du système réticulo-endothélial des bovins, de protozoaires microscopiques, transmis par des tiques.

Deux formes graves :

Theiléríose afrotropicale (fièvre de la côte orientale), due à *Th. parva*, transmise par la tique *Rhipicephalus appendiculatus*. Affection des pâturages de savanes d'altitude (800-2000 m) d'Afrique orientale et australe.

Theiléríose méditerranéenne et moyen-orientale des steppes due à *Th. Annulata* (= *Th. dispar*), transmises par des tiques du genre Hyalomma.

Une forme bénigne, due à *Th. mutans*.

Symptômes des formes graves : hyperthermie, anémie profonde, adénite des ganglions superficiels, mortalité élevée.

Traitement :

— Parvaquone (Clexon) : en intramusculaire 10 mg/kg x 2 à 48 h.
— Alofuginone (Sténorol) : par voie orale 0,6 mg/kg x 2 à 48 h.

Prophylaxie : destruction des tiques.

6.6. Trypanosomiases

Affectent l'homme et les animaux domestiques ou sauvages. Provoquées par la multiplication dans le plasma sanguin de protozoaires flagellés, les **trypanosomes**. Transmission par des insectes piqueurs taons, stomoxes, et surtout glossines (mouches tsé-tsé), à l'exception de la **dourine**, maladie des chevaux transmise par le coït.

Symptômes : maladies chroniques, évolution lente. Anémie, amaigrissement, cachexie, œdèmes sous-cutanés, troubles nerveux, kératites ulcératives.

Traitement :

— Suramine sodique (Moranyl) : injections intramusculaires (solution à 10 p.100). Bovins, équins : 10 mg par kg de poids ; dromadaires : 5 g par animal.
— Bromure d'homidium (Ethidium) : injection intramusculaire (solution à 2 p.100 dans l'eau chaude). Bovins, ovins, équins : 1 mg par kg.
— Chlorure d'homidium (Novidium). Même posologie (solution à 2 p.100 dans l'eau froide).
— Diminazène (Bérénil) : injection sous-cutanée ou intramusculaire (solution à 7 p.100) : bovins, ovins, caprins : 3,5 mg par kg de poids.
— Sulfate de quinapyramine (Trypacide sulphate, Noroquin) : injection sous-

TABLEAU RÉCAPITULATIF - INDICATIONS DES TRYPANOCIDES USUELS
(P. Finelle)

		T. congolense			*T. vivax*	
		Ruminants	Chevaux	Chiens	Ruminants	Chevaux
Curatifs	Emploi recommandé	Diminazène Isométa-midium	Isométa-midium	Isométa-midium	Diminazène Isométa-midium	Isométa-midium
	Emploi possible	Homidium Quinapy-ramine	Homidium Diminazène Quinapy-ramine	Diminazène Quinapy-ramine	Homidium Quinapy-ramine	Homidum Diminazène
Préventifs	Emploi recommandé	Isométa-midium Pyrithidium	Isométa-midium	Isométa-midium	Isométha-midium Pyrithidium	Isométa-midium
	Emploi possible	Quinapy-ramine			Quinapy-ramine	

	T. brucei		*T. simiae*	*T. evonsi*	
	Chevaux	Chiens	Porcs	Camélidés	Chevaux
Curatifs	Quinapyramine	Quinapyramine		Quinapyramine	Quinapyramine
	Diminazène Isométamidium	Diminazène Isométamidium	Isométamidium (*) Quinapyramine + Diminazène	Suramine Diminazène Isométamidium	Suramine Diminazène Isométamidium
Préventifs	Quinapyramine		Suramine + Quinapyramine	Quinapyramine Suramine + Quinapyramine	Quinapyramine Suramine + Quinapyramine

* Fortes doses nécessaires

cutanée (solution à 10 p.100 : bovins, ovins, caprins, dromadaires : 5 mg par kg ; équins : 4 mg par kg.

— Chlorure d'isométamidium (Samorin, Trypamidium). Injection intramusculaire (solution à 1 ou 2 p.100) : bovins, ovins, caprins, équins, chiens : 0,25 à 1 mg par kg.

Prophylaxie : basée sur l'utilisation de produits chimiques à action préventive injectés à l'animal et sur la lutte contre les insectes vecteurs :

— Sulfate + chlorure de quinapyramine (Trypacide - Pro-salt) : injection sous-cutanée (solution à 24 p.100) : 12 mg par kg. Durée de protection : 2 à 3 mois.

— Bromure de pyrithidium (Prothidium) : injection intramusculaire (solution à 2 p.100 dans l'eau bouillante) : 2 mg par kg. Durée de protection : 3 à 6 mois.

— Chlorure d'isométamidium (Trypamidium) : injection intramusculaire (solution de 1 à 4 p.100) ; 0,5 à 2 mg par kg. Durée de protection : 3 à 8 mois.

Eviter les zones infestées de glossines. Lutte contre les glossines (prophylaxie agronomique, pulvérisation d'insecticides).

C. — LUTTE CONTRE LES VECTEURS

1. DESTRUCTION DES ARTHROPODES

La destruction des arthropodes, parasites ou vecteurs de maladies infectieuses ou parasitaires, revêt de plus en plus d'importance en matière d'hygiène et de prophylaxie. Les méthodes de lutte peuvent se classer en méthodes de lutte écologique et méthodes de lutte chimique, ces méthodes pouvant, dans bien des cas, être combinées.

1.1. Lutte écologique, par action sur le milieu, déboisement, éclaircissement du sous-bois, partiel ou sélectif (prophylaxie agronomique contre les glossines, prophylaxie des trypanosomiases). Enlèvement ou stérilisation par la méthode biothermique des fumiers (lutte contre les stomoxes, les mouches).Drainage des marécages, faucardage des cours d'eau (lutte contre les tabanidés, contre les moustiques). Rotation des pâturages (lutte contre les tiques). Crépissage, dallage, carrelage des murs des hangars, étables, poulaillers (lutte contre les tiques, les puces, les punaises).

1.2. Lutte chimique, par emploi de produits chimiques insecticides. L'application des insecticides dans la lutte contre les arthropodes parasites des animaux domestiques se fait par des moyens divers. Le choix de ces moyens dépend de l'espèce animale considérée, du parasite à détruire, de l'importance numérique du groupe animal à traiter, de l'insecticide employé, des buts de l'utilisateur (particulier, coopérative, service public à l'échelon régional ou national). Les principaux insecticides sont d'origine minérale (anhydride arsénieux, coaltar, crésylol) ; d'origine végétale (pyréthrines, roténones, nicotine) ; de synthèse, organochlorés (D.D.T. et dérivé, H.C.H. chlordane, dieldrin, toxaphène) ; de synthèse, organophosphorés (coumaphos, diazinon, dioxathion, fenchlorphos, malathion, trichlorphon). On trouvera dans le tableau II, une liste alphabétique des principaux insecticides avec leurs applications.

TABLEAU I : MÉDICAMENTS ANTIPARASITAIRES POLYVALENTS

Principe actif	Dénominations commerciales (laboratoires)	Indications	Animaux	Traitement (SC = sous cutanée ; IM = Intramusculaire ; IP = intrapéritonéale ; IT = intratrachéale)
Acéturate de diminazène	Bérénil (UVECO)	Piroplasmoses Trypanosomiases	Bovins, ovins, caprins, équins	Injection SC ou IM (solution à 7 p.100) : 3,5 mg/kg
Albendazole	Valboren (LAPROVET)	Strongyloses gastro-intestinales Fascioloses Cestodoses	Bovins Ovins	Voie buccale : suspension Bovins : sol. à 5 p.100 = 15 à 20 ml/100 kg Ovins : sol. à 2 p.100 = 2 à 2,5 ml/10 kg Voie buccale : bolus à 200 mg Bovins et ovins 1 à 2 bolus/150 kg 0,5 à 1 bolus/50 kg
Bitin-S	Disto-5 (SANOFI)	Fascioloses Paramphistomidoses Téniasis Strongyloses gastro-intestinales	Bovins Ovins	Voie buccale Bovins : 30 à 40 mg/kg Ovins : 40 mg/kg
Diéthylcarbamazine + Tétramizole	Helminthicide (BIARD)	Filarioses Thélazioses Strongyloses respiratoires Métastrongyloses	Bovins Ovins Porcins	Injections IM ou IP (solution à 10 p.100 + 5 p.100) 1 ml pour 10 kg maximum : bovins : 60 ml ovins : 5 ml
Fenbendazole	Panacur (Distrivet)	Strongyloses gastro-intestinales Strongyloses respiratoires Ascaridioses	Bovins Ovins Caprins	Voie buccale Bovins : sol. à 2,5 p.100 = 30 ml pour 100 kg sol. à 10 p.100 = 7,5 ml pour 100 kg Ovins - Caprins : sol. à 2,5 p.100 = 2 ml pour 10 kg
Pipérazine / Dithiocarbamate	Polyver (SANOFI) Polyrazine (+ adipate et citrate) (IVFC)	Ascaridioses Œsophagostomoses Oxyuroses Strongyloses intestinales	Equins, bovins ovins, porcins	Voie buccale Equins : 100 à 150 mg/kg Bovins-ovins :150 mg/kg Porcins : 100 mg/kg (à employer avec prudence).

TABLEAU I : MÉDICAMENTS ANTIPARASITAIRES POLYVALENTS (fin)

Principe actif	Dénominations commerciales (laboratoires)	Indications	Animaux	Traitement (SC = sous cutanée ; IM = Intramusculaire ; IP = intrapéritonéale ; IT = intratrachéale)
Tartrate de pyrantel	Exhelm (PFIZER)	Strongyloses gastro-intestinales Œsophagostomoses Ascaridioses	Bovins Ovins Caprins Porcins	Voie buccale Bovins, Ovins, Caprins : pour 100 kg 40 ml (sol.) - 40 g (poudre) Porcins : pour 100 kg 25 ml (sol.) - 25 g (poudre)
Tétramisole	Polystrongle (COOPHAVET) Vadéphen (RHONE-MERIEUX)	Ascaridioses Œsophagostomoses Métastrongyloses Strongyloses gastro-intestinales-Strongyloses respiratoires Strongyloïdoses	Bovins, ovins, caprins, porcins	Injections SC, IM, IP ou voie buccale selon présentation Bovins : 5 à 15 mg/kg Ovins : 12 à 40 mg/kg Porcins : 5 à 15 mg/kg
Lévamisole	Némisol (RHONE-MERIEUX) Thelmisole (AVITREC) Bolumisole (LAPROVET)	Nématodoses gastro-intestinales et pulmonaires	Bovins, ovins, porcins	Injections IM (bovins, ovins) , SC (porc) sol. à 15 p.100 : 1 ml/20 kg Bovins : bolus 1 g/150 kg ovins, veaux : bolus 0,3 g/50 kg
Thiabendazole	Némapan (NOE) Thibenzole (MSO-AGVET)	Ascaridioses Œsophagostomoses Oxyuroses Strongyloses gastro-intestinales Strongyloïdoses	Bovins, ovins, caprins, équins, porcins, camélidés	Voie buccale Bovins, ovins, caprins: 100 mg/kg Equins : 50 à 100 mg/kg Porcins: 50 mg/kg Camélidés : 300 mg/kg
Thiodiphénylamine	Phéno K (IVFC)	Œsophagostomoses Oxyuroses-Strongyloses gastro-intestinales Trichostrongyloses	Bovins, ovins, caprins, porcins, équins	Voie buccale Bovins : 200 mg/kg - Ovins : 500 mg/kg Porcins : 100 mg/kg - Equins : 30 à 50 mg/kg
Trichlorphon	Néguvon (BAYER)	Ascaridiose (veau) Strongyloses gastro-intestinales-Œstroses Myiases gastriques Ectoparasites-Gales (douches)	Veau bovins, ovins, équins	Voie buccale ou injection IM A utiliser avec précaution. Bovins, ovins : 60 mg/kg Equins : 25 à 75 mg/kg. Veau (Ascaridose) : 25 mg/kg

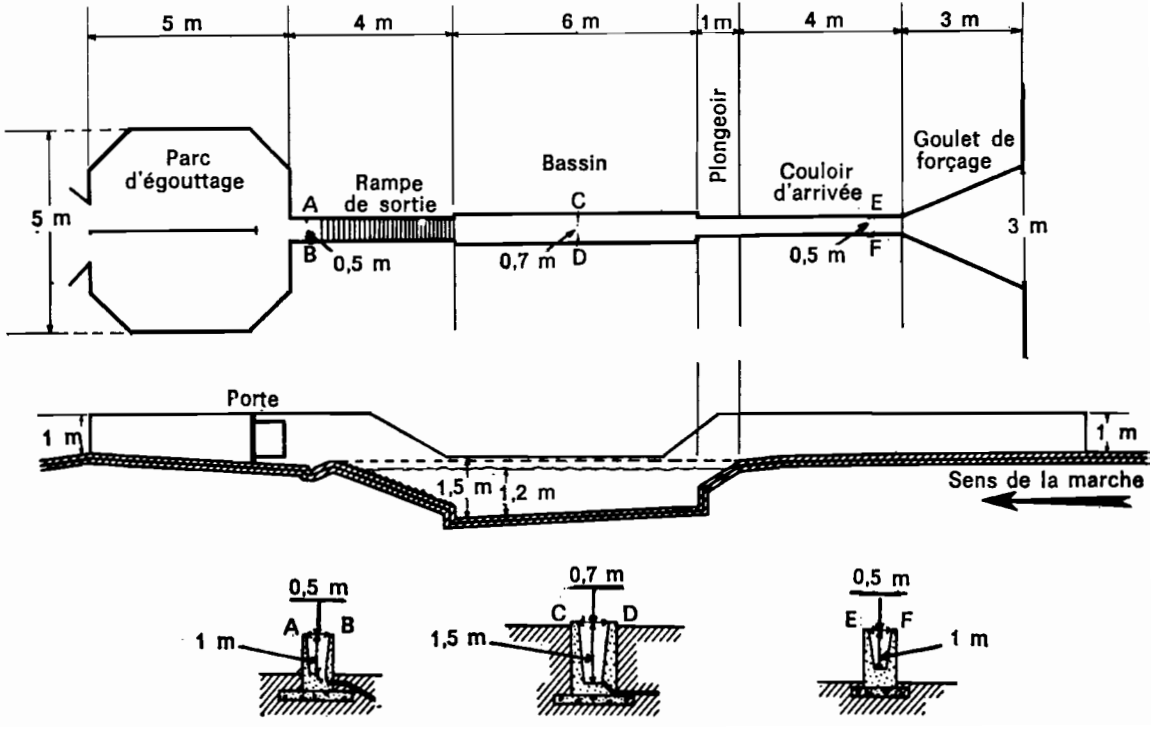
TABLEAU II - INSECTICIDES, ACARICIDES (Lutte contre les arthropodes vecteurs)

Principes actifs	Dénominations commerciales	Utilisation
Amitraz	Taktik Triatix	Aspersion (0,25 p.1000) contre tiques et autres acariens (strictement acaricide).
Bromophos	Proxyton Tizicron	Pulvérisations sur les murs contre les mouches. Applications locales contre les ectoparasites des bovins, ovins, porcins.
Carbaryl	Sevin Carbyl	Douches à 10p.1000 contre les tiques, puces, poux. Poudrage à 5 p.100. Pulvérisations sur les murs, perchoirs.
Chlorfen-vinphos	Supona Steladone	Pulvérisations (0,2 à 0,5 p.1000) ou bains (0,5 p.1000) contre les tiques.
Coumafos	Asuntol	Pulvérisations, bains (0,5 p.1000) contre tiques, puces, poux, gales. Pulvérisations sur les murs contre mouches, moustiques.
Crotoxyphos	Ectal Ciodrin	Pulvérisations, douches (1 à 3 p.1000) contre tiques, poux, mouches. Poudrage (5 p.100).
Deltaméthrine	Butox	Aspersions (0,05 p.1000) contre tiques, insectes hématophages. Dépôt dorsal **pour on** (1 ml/10 kg).
Dichlorvos	Vapona Nuvan	Par évaporation contre poux, puces, insectes ailés.
Dieldrine	Actidrine Dieldrin Dieldrex	Restriction légale d'emploi dans de nombreux pays, dont la France. Pulvérisations sur feuillage (mouches, moustiques, glossines) et badigeons sur murs.

Principes actifs	Dénominations commerciales	Utilisation
Diéthion	Rhodiacide	Bains, douche à 0,5 p.1000 contre les tiques du bétail.
Dimpylate	Néocidol Diazinon	Douches à 0,5 p.1000 contre tiques, poux. Pulvérisations contre mouches, moustiques.
Fenchlorphos	Ectoral Etrolène Trolène	Douches (2,5 à 5 p.1000) contre les tiques. Poudrage. Par voie buccale contre les œstres du mouton (100 mg/kg).
Fenthion	Tiguvon	Applications locales liquides sur le pelage contre les tiques, les poux.
Fluméthine	Bayticol	Aspersions (0,06 p.1000) contre tiques, insectes hématophages. Dépôt dorsal **pour on** (1 ml/10 kg).
Lindane (isomère de l'H.C.H.)	Gamatox Tigal Progamex Lindane 18	Pulvérisations, bains, applications locales contre les gales, les tiques, les puces, les poux, les myiases cutanées.
Malathion	Sumitox Zithiol	Pulvérisations, douches (1 à 2,5 p.1000), poudrage (4 à 5 p.100) contre tiques, poux, puces, gales.
Toxaphène	Coopertox-Rhodiaphène-Tiphène	Bains, pulvérisations contre les tiques du bétail, poux, gales du mouton et du porc.
Trichlorphon	Néguvon	Douches, lavage, poudrage contre tiques, poux, gales. Par voie buccale contre les œstres, les myiases gastriques, les habronèmes, les strongles gastro-intestinaux des bovins, ovins.

BAIN TYPE POUR PETITS RUMINANTS

(La longueur du bassin peut être comprise entre 6 et 8 m)

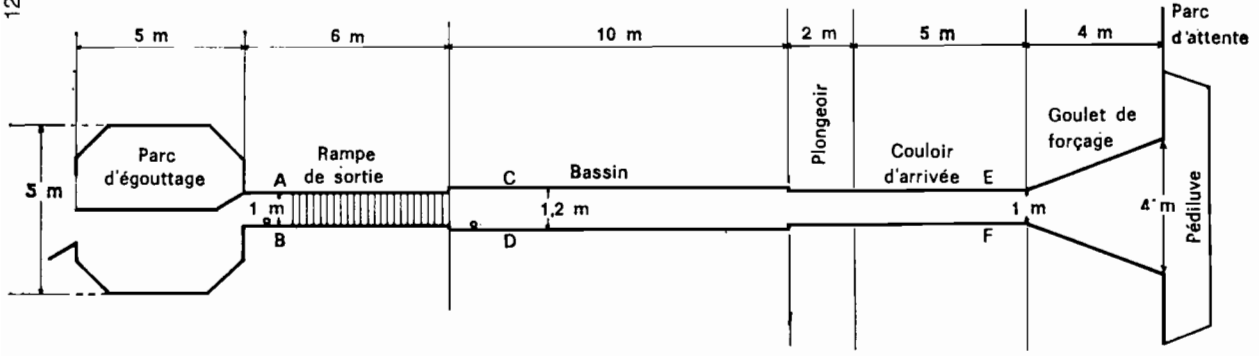


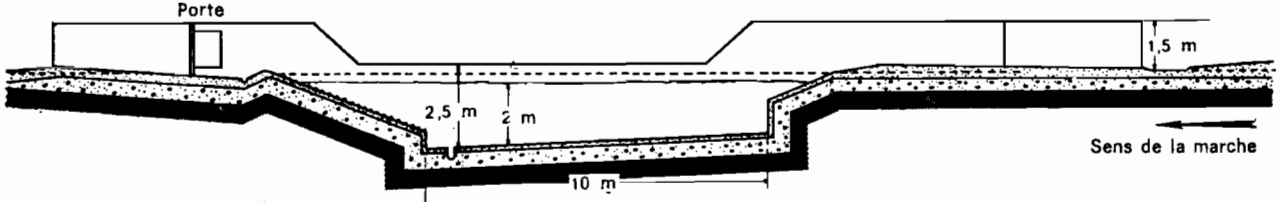
1238

1239

BAIN TYPE POUR PETIT TROUPEAU BOVIN SEDENTAIRE

(La longueur du bassin peut être comprise entre 6 et 10 m).







On ne doit pas oublier qu'il s'agit de produits toxiques, même si leur nocivité est incomparablement plus forte envers les arthropodes qu'envers les vertébrés homéothermes (mais poissons, batraciens et reptiles y sont très sensibles) ; beaucoup sont inscrits à un tableau des substances vénéneuses. Il convient donc, dans tous les cas, de conserver les insecticides hors d'atteinte des enfants, des animaux, de lire soigneusement le mode d'emploi du fabricant et d'appliquer rigoureusement les prescriptions données.

Les techniques d'application des insecticides peuvent être classées :

— en traitement cutané : bains, douches sous basse ou sous haute pression, poudrages ;
— en traitement général : voie transcutanée (douche ou jet sous haute pression), voie sous-cutanée, voie orale ;
— en traitement du biotope (sol, feuillage, litière, habitation, poulailler, etc.) : poudrages, pulvérisations.

Bains (cf. plans I et II) : comportent un parc d'attente, un couloir d'arrivée, un bassin et un parc d'égouttage et de séchage. Le bassins est suffisamment long et profond pour obliger les animaux à se baigner complètement. La solution insecticide devra être en quantité suffisante, et renouvelée de temps à autre car ses propriétés insecticides diminuent à la longue. Les bains sont surtout utilisés pour traiter les animaux contre les gales, les tiques.

Douches : administrées à l'aide d'appareils fixes, ou à l'aide de pulvérisateurs portatifs. Contre les tiques et les ectoparasites permanents (poux).

Poudrages et pulvérisations : contre les ectoparasites permanents des animaux, ainsi que pour traiter les enclos, les pâturages, les murs, le sol, le feuillage (lutte contre les glossines et les moustiques).

Lorsque les insecticides sont appliqués directement sur les animaux (bains, douches, pulvérisations) un certain nombre de précautions sont indispensables :

— ne pas traiter les nouveau-nés avant 2 mois (bovins), les femelles au dernier tiers de la gestation, les animaux porteurs de plaies récentes ou d'affections ayant provoqué des délabrements importants, les animaux fatigués ;
— laisser les animaux au repos pendant plusieurs heures avant de les traiter, leur donner à boire et à manger pendant cette période de repos ;
— lors de traitements collectifs (bains, douches) traiter de préférence le matin, pour permettre aux animaux de sécher dans la journée ; ne pas traiter par grand soleil ou par temps froid ou sous la menace de pluie, qui laverait l'insecticide ;
— traiter à part les jeunes et les animaux de petite taille.

2. DESTRUCTION DES MOLLUSQUES D'EAU DOUCE

Seule méthode pouvant donner des résultats appréciables dans la prophylaxie des trématodoses (paramphistomidoses, fascioloses, schistosomoses).

Principes généraux :

2.1. Lutte écologique : destruction de la végétation aquatique ; drainage, assèchement des marécages. En pays sahéliens la saison sèche réalise une

interruption naturelle des cycles parasitaires et une stérilisation relative mais répétée et régulière des abords des points d'eau non permanents.

En régions plus humides, le surcreusement des mares, de façon à en faire des points d'eau permanents, constitue un danger de propagation des maladies à trématodes, par la survie qu'il assure aux mollusques. Ces réserves d'eau doivent être protégées de l'accès direct des animaux : prélever l'eau par siphonnement ou galerie communicante.

2.2. Lutte biologique : introduction d'animaux prédateurs (canards, oies, poissons, écrevisses, crabes malacophages).

2.3. Lutte chimique : c'est le procédé le plus employé et le plus efficace. Il consiste à épandre dans l'eau des cours d'eau infestés de mollusques des produits molluscicides dont les principaux sont :

— Chlorure de baryum à la concentration de 14 p.p.m.(1) (25 p.p.m. par 24 heures).
— Diméthyl dithiocarbamate de zinc (Zirame, Mollurame) à la concentration de 3 à 10 p.p.m. (incompatibilité chimique avec le sulfate de cuivre).
— Frescon, sous forme d'émulsion ou de granulés effervescents : 0,2 p.p.m dans les eaux stagnantes et 0,5 p.p.m. dans les eaux courantes.
— Niclosamide (Bayluscide) sous forme de poudre mouillable : 4 à 12 p.p.m.
— Pentachlorophénate de sodium (Santobrite), sous forme de flocons, pastilles, briquettes solubles : 50 à 80 p.p.m.
— Sulfate de cuivre sous forme de cristaux solubles dans l'eau (vitriol bleu) 20 à 30 p.p.m. par heure.

Les molluscicides que l'on peut recommander en raison de leur efficacité, de leur prix, de leur facilité d'emploi, ou de leur faible toxicité, sont le sulfate de cuivre, le pentachlorophénate de sodium, la niclosamide, le zirame.

V

MALADIES CONTAGIEUSES DES ANIMAUX DOMESTIQUES

REMARQUES IMPORTANTES

1. Parmi ces maladies, un certain nombre font l'objet de **mesures légales** de déclaration, de quarantaine et d'éradication. La liste de ces maladies et les mesures qu'entraîne leur diagnostic sont variables selon les pays et il est impossible de les citer en détail : il y a donc nécessité pour les techniciens des industries animales de se tenir au courant des législations locales en vigueur, de façon à ne pas y contrevenir et à les faire appliquer dans toute leur rigueur, car ces règlements concernent au premier chef des maladies très dangereuses, pour le cheptel et très souvent aussi pour l'homme.

2. Dans les pays tropicaux, en règle générale, les sérums et les vaccins sont préparés dans des laboratoires d'Etat et non par des firmes privées.

(1) p.p.m. = partie pour million.

D'un pays à l'autre, un même sérum ou un même vaccin (contre le charbon bactéridien par exemple) peut présenter des différences dans son conditionnement ou son volume utile.

Il y a lieu de se conformer, en toutes circonstances aux instructions d'emploi fournies par le laboratoire d'origine.

AGALAXIE CONTAGIEUSE DES BREBIS ET DES CHÈVRES

Maladie contagieuse des petits ruminants atteignant surtout les femelles peu après la mise bas. Elle est due à un germe du groupe des mycoplasmes *Mycoplasma agalactiae*, et se manifeste essentiellement par trois localisations : mammaire (mammite purulente), oculaire (kératite) et aticulaire (synovite et abcès articulaires).

Traitement : seuls sont actifs les antibiotiques du groupe tétracycline, la tylosine et la spiramycine.

Prophylaxie : isolement et séquestration des malades, désinfection des locaux et du matériel, vaccination des animaux sains par un vaccin de culture.

ANÉMIE INFECTIEUSE DU CHEVAL

Maladie contagieuse grave due à un ultravirus spécifique, à évolution fatale à plus ou moins longue échéance (forme aiguë, forme chronique) et caractérisée cliniquement par une anémie très marquée avec des épisodes fébriles remittents ou intermittents.

Aucun vaccin n'est efficace et la thérapeutique ne peut être que symptomatique. Il faut conseiller l'abattage des malades pour éteindre les foyers de contagion. Les chevaux en bonne santé apparente et porteurs de virus sont fréquents : on peut les dépister facilement aujourd'hui au moyen d'un test d'immuno-diffusion.

FIEVRE CATARRHALE (blue-tongue)

Maladie propre aux ruminants et atteignant essentiellement le mouton, due à un ultravirus spécifique et transmise par des insectes piqueurs (maladie des saisons chaudes et pluvieuses) elle se manifeste surtout par une stomatite ulcéreuse et une congestion des tissus du pied visible au niveau du bourrelet. L'état général des animaux est très altéré et la toison s'en va en lambeaux. En raison de leur rusticité, les races ovines des pays tropicaux ne présentent pas de symptômes.

Traitement : on ne peut employer que des médications symptomatiques, car il n'existe aucun traitement spécifique.

Prophylaxie : lutte contre les insectes vecteurs par la pratique des bains insecticides.

Déplacement si possible des troupeaux vers des pâturages en altitude.

Vaccination par des vaccins vivants atténués d'ovoculture et de culture cellulaire (préparés avec les sérotypes correspondants).

BOTULISME

Maladie non contagieuse caractérisée par un syndrome de paralysie ascendante, d'évolution plus ou moins rapide (forme aiguë et forme subaiguë) due à la toxine d'un germe anaérobie (*Clostridium botulinum*) dont il existe 5 variétés immunologiques : A, B, C, D et E. Il s'agit donc d'une intoxication le plus souvent,

d'une toxi-infection quelquefois. Toutes les espèces animales (mammifères et oiseaux) et l'homme sont sensibles à cette toxine.

Traitement : il consiste en injection de sérum antibotulique à haute dose et de façon soutenue. Commencer par du sérum polyvalent et continuer avec le sérum spécifique lorsqu'un diagnostic (à faire le plus rapidement possible) a permis de préciser le type immunologique en cause.

Prophylaxie :

1) Dans les zones d'élevage extensif où sévit le botulisme. Il est primordial de fournir aux animaux une alimentation correctement équilibrée afin de prévenir les carences, celles-ci provoquant du « pica », c'est-à-dire un comportement alimentaire anormal se traduisant par l'ingestion de cadavres putréfiés, d'os, etc. qui risquent de contenir soit la toxine, soit le germe.

2) Faire des vaccinations régulières avec l'anatoxine botulique : celle-ci doit être préparée avec le type sérologique auquel on a affaire dans une région déterminée.

BRUCELLOSE (avortement contagieux des ruminants, avortement épizootique)

Maladie infectieuse due aux germes du genre (*Brucella abortus, B. melitensis, B. suis*) provoquant des avortements répétés (assez tardifs) chez les femelles infectées. Bien qu'elle atteigne essentiellement les vaches, les brebis et les chèvres, elle peut toucher d'autres espèces de mammifères (cheval, porc) et se transmettre à l'homme (syndrome de la fièvre ondulante, fièvre de Malte) par le lait ou par d'autres secrétions ou excrétions virulentes.

Si l'avortement et la non délivrance sont les symptômes majeurs, il peut exister cependant d'autres localisations : synovites articulaires, hypromas, lésions osseuses.

Les brucelloses observées sous les tropiques n'ont pas de caractères différents de celles observées en zone tempérée.

Traitement : bien qu'il soit théoriquement possible avec les antibiotiques actifs sur les germes gram-négatifs, il n'est jamais appliqué vu son prix de revient et l'incertitude de la guérison bactériologique.

Prophylaxie : les effectifs sains doivent être contrôlés périodiquement par les tests sérologiques.

Les animaux infectés doivent être éliminés.

Les animaux importés ou achetés doivent subir une quarantaine et un test sérologique (**séroagglutination lente, fixation du complément**).

Le dépistage des troupeaux atteints peut facilement s'effectuer par le moyen du **test de l'anneau** pratiqué sur des échantillons de lait ou de l'agglutination rapide sur lame avec l'antigène coloré tamponné acidifié (dit au Rose Bengale).

Les locaux où ont eu lieu des avortement sont à désinfecter soigneusement.

L'application des mesures sanitaires efficaces est impossible en élevage extensif.

La vaccination par la souche vivante B. abortus 19 est restée longtemps la principale solution : elle est à réserver surtout aux animaux impubères (génisses et taurillon de 4 à 7 mois) auxquels elle confère une immunité de prémunition. Toutefois, les vaches adultes peuvent être vaccinées lorsqu'elles sont non gestantes.

Aujourd'hui, les vaccins inactivés additionnés d'adjuvant de l'immunité se révèlent doués d'un réel pouvoir protecteur ; ils seront certainement très précieux en élevage extensif de type tropical.

Les vaccins inactivés dits non agglutinogènes ont la propriété de ne pas entraîner l'apparition dans l'organisme d'anticorps vaccinaux qui pourraient gêner un sérodiagnostic ultérieur.

En prophylaxie courante, la vaccination par la souche vivante B. abortus 19 est réservée aujourd'hui aux jeunes animaux de 4 à 7 mois, alors que les vaccins inactivés servent à la vaccination annuelle des adultes.

CHARBON BACTÉRIDIEN (septicémie ou fièvre charbonneuse)

Maladie infectieuse grave, provoquée par la bactéridie charbonneuse *(Bacteridium anthracis)* atteignant surtout les herbivores, mais pouvant infecter de nombreuses espèces domestiques et l'homme (pustule maligne après contamination par voie cutanée et formes pulmonaire ou intestinale mortelles après inhalation ou ingestion des spores).

Dans la majorité des cas, elle est caractérisée par une évolution fatale, accompagnée de signes généraux graves. Le diagnostic s'effectue surtout en observant les lésions classiques : sang noir, urine brune, rate hypertrophiée et boueuse.

Il existe des formes œdémateuses du charbon bactéridien.

Traitement : tous les antibiotiques actifs sur les germes grampositifs sont utilisables (pénicilline surtout) ; pour être efficace, ce traitement doit être précoce et intensif. On peut lui associer l'injection de sérum anticharbonneux.

Prophylaxie : éviter aux troupeaux la pâture sur les zones contaminées.

Les malades ne seront jamais saignés *in extremis* et les cadavres jamais dépouillés. Ceux-ci seront détruits par le feu ou profondément enfouis.

Vacciner une fois par an les troupeaux exposés à la contamination (vaccin sporulé vivant avirulent).

CHARBON SYMPTOMATIQUE (ou charbon à tumeurs ou bactérien)

Maladie infectieuse grave, appartenant au groupe des gangrènes gazeuses, provoquée par un germe anaérobie (*Clostridium chauvœi*), rencontrée surtout chez les bovins, bien qu'on puisse l'observer sur d'autres espèces de mammifères, et caractérisée par l'évolution d'une ou plusieurs tumeurs gangreneuses gazeuses au sein des masses musculaires. L'évolution est rapide et le plus souvent mortelle.

Traitement : la pénicilline, associée aux injections de sérum anti-charbon symptomatique (ou à défaut de sérum antigangreneux polyvalent).

Prophylaxie : dans les zones d'enzootie, la vaccination annuelle est nécessaire. On emploie un vaccin tué (anaculture formolée) qui donne d'excellents résultats.

CLAVELÉE (variole ovine), VARIOLE CAPRINE

Maladies contagieuses dues à un virus unique du genre *Lapripox virus*, dont certaines souches peuvent avoir un tropisme pour l'une ou l'autre espèce animale tandis que d'autres touchent autant les moutons que les chèvres. Deux formes cliniques existent :

— la forme nodulaire (très fréquente chez les ovins et caprins en Afrique intertropicale) est caractérisée par l'apparition de nodules intradermiques dures, mobilisables qui disparaissent par nécrose. Ces nodules sont localisés sur l'encolure, le dos et les flancs ;
— la deuxième forme est visible sur les moutons et se caractérise par une éruption pustuleuse.

La gravité de ces maladies est variable selon les races et souches de virus. Elles sont mortelles en cas d'extension des nodules aux poumons et aux muqueuses digestives (œsophage, rumen).

Traitement : soins hygiéniques ; repos des animaux : les sujets de prix peuvent recevoir du sérum anticlaveleux.

Prophylaxie : isoler les malades. Vacciner les animaux qui semblent indemnes et qui sont exposés à la contagion.

Mettre en quarantaine les troupeaux atteints durant au moins 3 semaines.

DERMATOSE NODULAIRE DES BOVIDÉS

Maladie infectieuse, d'origine virale, atteignant les bovins et dont le signe majeur est l'apparition de nodules intradermiques, durs et douloureux, qui s'éliminent généralement par nécrose en laissant des cratères granuleux.

Ils siègent surtout au niveau du cou, de la poitrine, du dos, des cuisses, dans les régions glabres, autour du mufle et des yeux.

Traitement : aucune médication spécifique. Soins hygiéniques.

Prophylaxie : lutte contre les insectes qui sont les vecteurs de la maladie. Limitation des déplacements du bétail. Il existe une possibilité de vaccination (vaccin vivant atténué de culture cellulaire).

CORYZA GANGRENEUX (fièvre catarrhale maligne des bovidés)

Maladie infectueuse grave des bovidés due à un ultravirus spécifique et caractérisée cliniquement par une inflammation sévère des muqueuses nasale et conjonctivale, avec écoulement de sécrétions muco-purulentes. Cette maladie est le plus souvent fatale.

Elle est transmise aux bovins par les moutons et les gnous, qui font des infections inapparentes.

Traitement : la thérapeutique est illusoire.

Prophylaxie : lutte contre les insectes qui sont les vecteurs de la maladie. Limitation des déplacements du bétail.

Aucune vaccination n'est actuellement possible.

DERMATHOPHILOSE CONTAGIEUSE DES BOVIDÉS (streptothricose, actinomycose cutanée)

Maladie infectieuse due à un germe de l'ordre des Actinomycètes (*Dermatophilus congolensis*) à évolution saisonnière, caractérisée par des lésions croûteuses de l'épiderme, atteignant essentiellement les bovins (taurins et zébus) des régions tropicales.

Les lésions de la peau, qui ressemblent à des lésions mycosiques, peuvent confluer et recouvrir tout le revêtement cutané de l'animal : il en résulte un amaigrissement considérable et la mort peut survenir par misère physiologique.

L'infection est transmise à la faveur d'une lésion cutanée et est donc favorisée

essentiellement par les plaies dues à la végétation épineuse et aux piqûres de tiques ; l'hygrométrie élevée de la saison des pluies est un facteur favorisant.

La maladie peut atteindre les petits ruminants (moutons et chèvres) et les équidés.

Traitement : de très nombreux traitements sont préconisés, mais aucun n'assure vraiment des résultats constants.

Les soins locaux sont très importants (brossage et décapage des lésions, suivis d'application locale d'antiseptiques).

Le traitement général de la dermatophilose des bovidés se fait surtout par l'emploi des antibiotiques (pénicilline, streptomycine, tétracycline, chloramphénicol) ; on conseille actuellement l'association pénicilline-streptomycine, en une injection unique, à la posologie suivante : pénicilline : 75 000 U.I. par kg, streptomycine: 75 mg par kg.

Prophylaxie : éviter aux animaux de subir les intempéries de la saison pluvieuse.

Lutter contre les tiques (voir bains et aspersions ixodicides) de façon très régulière : c'est certainement le meilleur moyen.

ENTÉRITE PARATUBERCULEUSE DES BOVIDÉS (maladie de Johne)

Maladie très grave des ruminants, due à un bacille très voisin du bacille tuberculeux (*Mycobacterium johnei*) caractérisée par un syndrome d'entérite diarrhéique, d'abord intermittent, puis permanent.

Cette évolution est chronique, elle aboutit à la mort de l'animal par cachexie.

Les animaux les plus atteints sont les bovins de 2 à 5 ans ; les porteurs de germes sans signes extérieurs de maladie sont très fréquents.

Traitement : aucun traitement efficace connu.

Prophylaxie : celle-ci est extrêmement difficile à entreprendre.

Dépistage des animaux infectés par les tests sérologiques et allergiques.

Elimination des réagissants.

Isolement des veaux sains, qui doivent être élevés à l'écart des adultes.

Eviter l'infection par les abreuvoirs, mares, fumiers, matériel,etc.

Vaccination du bétail vivant en région d'enzootie : cette intervention entraîne une réaction positive à la tuberculine, donc gêne la prophylaxie de la tuberculose.

FARCIN DES BOVIDÉS (nocardiose, actinomycose lymphatique)

Maladie contagieuse à évolution chronique due à un germe de la famille des mycobactéries (*Mycobacerium farcinogenes*) caractérisée par l'inflammation suppurée des vaisseaux et des ganglions lymphatiques superficiels. Les adénites sont froides, non douloureuses et n'ont pas tendance à l'ouverture spontanée.

Il existe des localisations aux séreuses (plèvre,péritoine) dont l'aspect lésionnel est identique à celui d'une tuberculose généralisée.

Cette infection entraîne une réaction positive aux tests tuberculiniques (réaction croisée) ce qui n'est pas étonnant étant donné la grande parenté du bacille tuberculeux et de l'agent du farcin.

Cette maladie a reçu pendant longtemps l'appellation de nocardiose car le germe responsable était, jusqu'à une période récente, classé dans les actinomycètes (genre *Nocardia*).

Traitement : Retenir: l'exérèse chirurgicale,
les injections de Novarsénobenzol.
Prophylaxie : soins des plaies. Lutte contre les tiques. Envoi des malades à la boucherie.

FIEVRE APHTEUSE

Maladie très contagieuse des ruminants et des suidés, due à un ultravirus spécifique (dont il existe de nombreux types immunologiques) caractérisée par un syndrome fébrile aigu, bientôt suivi d'un exanthème vésiculeux au niveau de la muqueuse buccale, des espaces interdigités et de la mamelle.

En Afrique, la maladie se présente généralement sous forme bénigne, évoluant en une à deux semaines et ne laissant généralement aucune séquelle. En revanche, elle se révèle très grave en Amérique du Sud.

Seuls les veaux courent le risque de faire une évolution mortelle.

Traitement : aucune médication spécifique connue.

Prophylaxie :

1) La prophylaxie sanitaire fait appel théoriquement aux méthodes classiques d'isolement des malades, de mise en quarantaine, etc. Pour être efficace, elle nécessite d'être parfaitement appliquée, ce qui est impossible dans les conditions de l'élevage extensif ou sédentaire tropical.

2) La prophylaxie médicale utilise des vaccins inactivés surtout pour les reproducteurs importés, troupeaux des stations zootechniques, vaches d'unités laitières, etc. Son coût est un facteur limitant sérieux ; les vaccins sont toujours à choisir en fonction des types sérologiques au nombre de 7 responsables de l'épizootie.

FIEVRE DE TROIS JOURS DES BOVINS (dengue bovine)

Maladie infectieuse, due à un virus spécifique, transmise par les insectes piqueurs et donc à évolution saisonnière (saison des pluies) caractérisée par un syndrome en deux phases :

1) hyperthermie brusque et signes généraux ;

2) contractures douloureuses des masses musculaires et douleurs articulaires.

La guérison est de règle, après une évolution très courte (3 à 4 jours).

Traitement: aucune médication spécifique. Soins hygiéniques.

Prophylaxie : lutte contre les insectes.

COWDRIOSE (Heart water)

Maladie grave affectant les ruminants, transmise par certaines espèces de tiques (genre *Amblyomma*) due à une rickettsie spécifique *(Cowdria ruminantium*) caractérisée par une évolution fébrile courte et une issue le plus souvent fatale, précédée de signes nerveux: grincements de dents, chute sur le sol, mouvements prolongés de galop en position couchée.

La lésion la plus caractéristique est la présence d'un exsudat inflammatoire abondant dans le péricarde (d'où le nom anglais).

La mortalité est toujours plus élevée chez les petits ruminants que chez les bovins.

Traitement : utiliser les antibiotiques du groupe tétracycline, à fortes doses

et très précocement. Son efficacité est illusoire si les signes nerveux sont apparus.

Prophylaxie : c'est essentiellement la lutte contre les tiques (voir bains et aspersions ixodicides).

En Afrique du Sud, on utilise pour les moutons mérinos une méthode de prémunition expérimentale : elle ne peut être pratiquée que par des techniciens spécialisés et sur des troupeaux surveillés.

LYMPHANGITE ÉPIZOOTIQUE DES ÉQUIDÉS

Maladie contagieuse, propre aux équidés, due à un champignon pathogène (cryptocoque), caractérisée par l'inflammation chronique, accompagnée de suppuration et d'ulcération, des vaisseaux et des ganglions lymphatiques.

Les lésions siègent sur la peau et les muqueuses : surtout aux membres antérieurs, au poitrail, à l'encolure, aux épaules (cordes lymphatiques, boutons ulcérés, adénites à fistules).

Eliminer toujours la morve, par une malléination.

Traitement : exérèse chirurgicale (au début de l'infection). Chimiothérapie : injections intraveineuses de Iodure de potassium, Biiodure de mercure, Novarsénobenzol.

Prophylaxie : isolement des malades. Désinfection du matériel, du harnachement. Hygiène et propreté des animaux. Soins antiseptiques des plaies de toute nature.

MALADIE DE TESCHEN (polioencéphalomyélite du porc, paralysie infectieuse)

Maladie infectieuse, due à un virus spécifique neurotrope atteignant exclusivement les suidés, caractérisée par un syndrome nerveux : phase initiale fébrile avec signes d'excitation et contractures, phase secondaire de paralysie progressive envahissante.

La forme aiguë frappe surtout les jeunes (80 à 90 p. 100 de mortalité), les formes subaiguë et chronique atteignant les porcs adultes.

Traitement : aucune médication spécifique connue.

Prophylaxie : mesures classiques de surveillance, séquestration des malades, interdiction des transports.

L'abattage des malades et des contaminés est fortement recommandé.

Vaccination (par des vaccins tués) des porcs vivant en région d'enzootie.

PASTEURELLOSE BOVINE (septicémie hémorragique des bovidés)

Maladie infectueuse grave des grands ruminants (zébus, taurins, buffles) due à une bactérie spécifique (*Pasteurella multocide*) et caractérisée cliniquement par un syndrome septicémique de courte durée (moins de 24 heures très souvent) évoluant sans signe particulier jusqu'à la mort.

Il existe une forme œdémateuse de la maladie (œdème de la gorge, œdème du tissu sous-cutané de diverses régions du corps) dont le pronostic est tout aussi grave : la forme pleuro-pulmonaire observée dans les régions tempérées est rare en zone tropicale.

Les cas septicémiques de pasteurellose bovine ne peuvent se différencier cliniquement des cas de charbon bactéridien, d'où la nécessité d'envoi de prélèvements au laboratoire.

La maladie sévit exclusivement ou presque pendant la saison des pluies (rôle favorisant des intempéries).

Traitement : sont actifs les sulfamides (sulfamérazine, sulfathiazol) et les antibiotiques actifs sur les germes gram-négatifs (streptomycine, chloramphénicol, tétracycline). Tout traitement est d'efficacité illusoire, s'il n'est pas établi très **précocement.**

Prophylaxie : isolement des malades, enfouissement ou destruction des cadavres.

Vaccination annuelle des troupeaux vivant en zone d'enzotie à l'aide de vaccins tués. L'intervention est à effectuer peu avant le début de la saison pluvieuse.

PASTEURELLOSE DES PETITS RUMINANTS

Il s'agit aussi d'une pleuro-pneumonie enzootique des moutons et des chèvres : c'est le plus souvent une infection secondaire ou associée, les pneumonies des petits ruminants ayant des causes multiples et souvent concurrentes : virus, bactéries, parasites.

Traitement : d'efficacité assez aléatoire, étant donné la fréquence des infections mixtes. On essaiera les associations d'antibiotiques (par exemple, Pénicilline - Streptomycine) ou les anti-infectieux à large spectre d'activité (Sulfathiazol, Sulfadimérazine, Terramycine, Spiramycine).

Prophylaxie : vaccination semestrielle ou annuelle des troupeaux infectés (vaccins inactivés).

PASTEURELLOSES PORCINE (pneumonie contagieuse du porc)

Cette maladie du porc sévit sous forme d'une pleuro-pneumonie à évolution subaiguë et c'est avant tout une infection enzootique de porcherie (porcs tousseurs).

Le syndrome observé en zone tropicale est identique à celui observé dans les élevages européens : la mortalité peut être élevée si les conditions d'élevage sont défectueuses.

L'infection pasteurellique peut s'associer à la « pneumonie enzootique », pneumonie en foyers déprimés (très visibles à la surface des poumons) dont l'agent est un mycoplasme spécifique et dont la symptomatologie est fruste (toux de porcherie).

Traitement : les sulfamides et les antibiotiques actifs sont cités à propos de la pasteurellose bovine.

Prophylaxie : retenir l'importance considérable des conditions hygiéniques des élevages (locaux secs et bien aérés, alimentation régulière et correcte, protection contre les intempéries, prophylaxie des parasitoses).

Isolement ou abattage des malades.

Vaccination des porcs par des vaccins inactivés, simples ou mixtes (pneumo-entérites).

PERIPNEUMONIE CONTAGIEUSE DES BOVIDES

Maladie grave, contagieuse, due à un germe du groupe des mycoplasmes, (Mycoplasma mycoides var. mycoides), caractérisée cliniquement par l'évolution d'une pleuro-pneumonie exsudative en général subaiguë ou chronique, à évolution très souvent fatale. Les principaux signes sont la toux, la difficulté respiratoire, l'altération grave de l'état général.

Les lésions du poumon et la plèvre sont des plus caractéristiques et l'exsudat pleural souvent très abondant.

Traitement : d'une façon générale, il est déconseillé car les animaux guéris ne sont souvent que « blanchis » et sont ensuite des porteurs de germes dangereux, qui disséminent la maladie.

Dans les cas où il doit être entrepris, on peut employer le novarsénobenzol par la voie intraveineuse, les antibiotiques du groupe tétracycline, la Tylosine ou la Spiramycine.

Prophylaxie : isolement précoce des malades qu'on essaiera d'éliminer par envoi différé ou immédiat à l'abattoir.

Désinfection totale des locaux et du matériel, si possible.

Vaccination des animaux sains par un vaccin vivant de culture (souches KH_3J et T_1) ; en zone d'enzootie, cette vaccination est à répéter annuellement.

Dans les troupeaux infectés, on essaiera d'accélérer la disparition de la maladie en pratiquant des vaccinations systématiques tous les 3 mois ou tous les 6 mois.

L'emploi d'un vaccin vivant contre la péripneumonie doit toujours se faire avec prudence, étant donné les différences de sensibilité existant entre des races bovines différentes ou même entre les différents troupeaux d'une même région; en tout état de cause, il faut se conformer à la lettre aux instructions fournies par le laboratoire producteur du vaccin.

Le dépistage sérologique des animaux infectés inapparents et leur élimination sans délai deviennent des mesures absolument nécessaires pour l'éradication définitive de la maladie lorsque celle-ci n'a plus qu'un taux d'incidence très bas.

En zone d'enzootie, surveillance permanente et méthodique des effectifs sains (régularité des examens cliniques et sérologiques).

PESTE BOVINE

Maladie infectieuse, contagieuse, due à un virus spécifique, atteignant essentiellement les bovidés (taurins, zébus, buffles, antilopes), parfois les suidés.

Elle est caractérisée cliniquement par un syndrome fébrile aigu (parfois subaigu) suivi assez rapidement par un catarrhe hémorragique sévère de toutes les muqueuses de l'organisme, visible surtout au niveau du tractus digestif (diarrhée muqueuse et hémorragique).

Il s'y associe des lésions ulcératives, souvent recouvertes de fausses membranes d'allure croupale (très visible au niveau de la muqueuse gingivale).

La mortalité est très élevée : 90 à 100 p.100 sur les troupeaux des régions jusqu'alors indemnes.

La maladie qui passe par vagues épizootiques sur du cheptel neuf a tendance à devenir enzootique et plus discrète dans les régions où elle sévit depuis tout temps.

Son diagnostic peut être rendu difficile, s'il existe dans une même région peste bovine et diarrhée bovine à virus (maladie des muqueuses).

Traitement : ne peut être que symptomatique car il n'existe aucune thérapeutique spécifique efficace.

Prophylaxie : toutes les mesures sanitaires applicables aux grandes maladies contagieuses (isolement des malades, quarantaine pour les suspects, interdiction des marchés et des déplacements d'animaux, etc.) sont ici de règle.

La vaccination efficace est absolument nécessaire en zone d'enzootie. Le vaccin est préparé sur culture cellulaire à l'aide d'un virus atténué.

Une seule injection assure une protection d'au moins 5 ans. Pour garantir l'efficacité du vaccin, la chaîne du froid doit impérativement être respectée jusqu'au lieu de vaccination : - 20°C pour le vaccin lyophilisé et reconstitution dans du sérum physiologique ou une solution molaire de sulfate de magnésium refroidie.

Si le vaccin de culture cellulaire n'est pas disponible, il est possible de recourir au vaccin caprinisé à n'employer que sur les zébus en raison des réactions post-vaccinales (hyperthermie, abattement...).

PESTE DES PETITS RUMINANTS

Maladie infectieuse, contagieuse, due à un virus spécifique proche de celui de la peste bovine, atteignant les petits ruminants et plus particulièrement les chèvres.

Elle est caractérisée cliniquement par un syndrome de pneumo-entérite avec atteinte des muqueuses digestives (érosions visibles dans la cavité buccale).

La mortalité est très élevée, de l'ordre de 50 à 100 p.100.

Traitement

Aucun traitement spécifique mais il est conseillé de traiter aux antibiotiques pour éviter les complications bactériennes.

Prophylaxie

Toutes les mesures sanitaires classiques.

La vaccination est possible, soit avec le vaccin antibovipestique, soit avec un vaccin homologue.

PESTE ÉQUINE

Maladie infectieuse due à un virus spécifique, atteignant exclusivement les équidés et transmise par des insectes (cullicoïdes, stomoxes, taons).

Sévissant surtout pendant la saison des pluies, elle est caractérisée par un syndrome fébrile aigu ou subaigu, des œdèmes du poumon et du tissu sous-cutané, des exsudats dans les séreuses et des phénomènes hémorragiques dans divers tissus.

C'est une maladie toujours mortelle pour le cheval non vacciné ; les mulets et les ânes, plus résistants, sont souvent atteints de formes frustes ou occultes de la maladie.

Traitement : illusoire, car il n'existe aucune thérapeutique efficace.

Prophylaxie : lutte contre les insectes (bains ou aspersions insecticides). Vaccination : c'est la méthode la plus efficace (fortement conseillée en zone d'enzootie).

Les vaccins sont préparés seulement par quelques laboratoires spécialisés : comme le virus de la peste équine comporte de nombreux types immunologiques, il est indispensable que les vaccins destinés à une région donnée soient préparés avec les types du virus rencontrés dans cette même région.

PESTE PORCINE AFRICAINE (maladie de Montgomery)

Maladie très contagieuse des suidés, due à un virus spécifique, à symptoma-

tologie presque identique à celle de la peste porcine classique, dont le diagnostic différentiel ne peut donc être assuré que par des tests de laboratoire.

Elle est caractérisée par un syndrome fébrile à évolution rapide et une mortalité très élevée (jusqu'à 100 p.100).

Les lésions macroscopiques sont semblables à celles de la peste classique.

Les suidés sauvages (phacopchère, hylochère, potamochère) font des infections inapparentes, mais contagieuses et constituent des réservoirs de virus. Certaines tiques (genre *Ornithodorus*) hébergent le virus pendant de longs délais et contaminent ces animaux par piqûre ; elles ont un rôle important dans le cycle naturel d'entretien de la maladie.

Traitement : aucun traitement connu à l'heure actuelle.

Prophylaxie : mesures sanitaires classiques : l'abattage des malades et des contaminés (stamping-out) est nécessaire pour éteindre les foyers.

Eviter les contacts entre porcs domestiques et suidés sauvages. Pulvériser régulièrement des produits insecticides ou acaricides dans les élevages.

Aucun procédé de vaccination n'est au point pour l'instant : les porcs immunisés contre la peste porcine classique, soit par une vaccination soit par une infection expérimentale, restent pleinement réceptifs à la peste porcine africaine.

PESTE PORCINE CLASSIQUE

Maladie très contagieuse des suidés, due à un virus spécifique, à évolution aiguë (chronique cependant dans certains cas), de type septicémique, caractérisée cliniquement par une évolution fébrile accompagnée d'un syndrome hémorragique généralisé.

Les signes associés le plus fréquemment sont une conjonctivite suppurée, une diarrhée liquide violente, une parésie du train postérieur, une congestion cutanée localisée au groin, aux oreilles, à l'abdomen.

La mortalité est élevée : jusqu'à 95 p.100 des effectifs et pratiquement égale à la morbidité.

Traitement : aucune thérapeutique n'est efficace.

Prophylaxie : mesures sanitaires strictes ; l'abattage des malades et des contaminés est fortement recommandé (sinon prescrit par la loi).

Vaccination des effectifs sains, par le moyen de deux types de vaccins :

1) vaccin tué (au crystal violet),
2) vaccins vivants : on dispose aujourd'hui de souches vaccinales entretenues sur cultures de cellules qui n'ont plus de pouvoir pathogène résiduel. L'emploi de tels vaccins permet dans la majorité des cas d'abandonner les injections simultanées d'immunosérum habituellement pratiquées.

PLEURO-PNEUMONIE CONTAGIEUSE DE LA CHÈVRE

Maladie grave, très contagieuse due à un germe du groupe des mycoplasmes (*Mycoplasma sp.* type F. 38) caractérisée cliniquement par une pleuropneumonie exsudative, dont les lésions ressemblent beaucoup à celles de la péripneumonie bovine. Cette maladie particulière aux caprins est mortelle en règle générale : elle est à distinguer des autres pneumopathies de la chèvre, à

étiologie souvent complexe (virus de la peste des petits ruminants, paramyxovirus, *Pasteurella*, divers mycoplasmes, etc.).

Traitement : antibiotiques du groupes tétracycline, tylosine ou spiramycine.

Prophylaxie : protection des animaux contre le froid et les intempéries. Isolement et séquestration des malades. Désinfection des locaux et du matériel.

RAGE

Maladie très grave de l'homme et des animaux domestiques due au virus rabique caractérisé par un syndrome nerveux se terminant inéluctablement par une paralysie envahissante mortelle.

Les signes de suspicion de la rage sont :

— les anomalies du comportement (changement de caractère) ;
— l'agressivité et les crises de fureur ;
— l'alternance de périodes d'excitation et de périodes de torpeur ou d'hébétude ;
— l'ingestion d'objets divers ;
— le changement du timbre de la voix (qui devient voilée ou plus rauque) ;
— l'impossibilité de déglutir des liquides (hydrophobie : l'animal semble avoir peur de l'eau) ;
— l'apparition de troubles moteurs (démarche ébrieuse ou ataxique, parésie du train postérieur, mâchoire inférieure pendante).

Le diagnostic ne peut être assuré que par un laboratoire spécialisé.

Traitement : aucun.

Prophylaxie : la prévention de la rage animale et la protection des humains, qui ont été contaminés par morsure ou par simple contact avec des animaux enragés, sont assurées par un certain nombre de mesures dont l'application est déclenchée par les services vétérinaires ou médicaux, dès qu'il existe une suspicion de rage (*a fortiori,* lorsqu'un diagnostic certain est effectué).

Dans les pays où la maladie existe, la mort d'un mammifère familier (chat, chien, civette, singe, etc.) ayant présenté des signes d'hébétude et de paralysie doit faire penser à la rage.

Ne jamais abattre (sauf impossibilité totale) un animal suspect de rage : le capturer ou l'enfermer en le mettant hors d'état de nuire (période d'observation obligatoire).

Prévenir immédiatement le vétérinaire ou le médecin du lieu, qui prendra toutes mesures utiles et effectuera l'examen clinique et les prélèvements nécessaires. Les gens mordus doivent sans délai s'adresser à leur médecin.

La prophylaxie médicale de masse n'est possible que chez le chien et chez les bovins : chez ces derniers, la vaccination peut être effectuée au moyen de vaccins inactivés ou de vaccins vivants.

Dans les pays où la rage est transmise par les vampires (Amérique tropicale), indépendamment de la vaccination, il est recommandé d'abriter les animaux pour la nuit dans des étables à portes et fenêtres grillagées.

TÉTANOS

Maladie infectieuse provoquée par un germe anaérobie (*Plectridium tetani*) commune à l'homme est à de nombreuses espèces animales, caractérisée cliniquement par des contractures musculaires généralisées, permanentes,

d'intensité variable, provoquées par la fixation sur les centres nerveux de la toxine spécifique de cette bactérie.

Le pronostic du tétanos est très grave, la mortalité est de l'ordre de 75 p.100 en l'absence de traitement ; les tétanos aigus sont toujours mortels.

Traitement : sérum antitétanique (ou antitoxine purifiée), injecté de façon précoce et intensive. Anatoxine tétanique associée au sérum (séro-anatoxithérapie). Traitement chirurgical : la plaie tétanigène doit être recherchée, débridée ou excisée. Pénicilline à fortes doses.

Prophylaxie : vaccination des animaux par l'anatoxine tétanique. Antisepsie des plaies de toute nature. Injection préventive de sérum avant toute intervention chirurgicale, même bénigne.

TUBERCULOSE

Maladie contagieuse, à évolution le plus souvent chronique, due au bacille tuberculeux (*Mycobacterium tuberculosis*) dont il existe plusieurs types : humain, bovin et aviaire.

Tous les mammifères et les oiseaux domestiques peuvent être atteints : la contamination homme-bovin ou bovin-homme est fréquente.

Les lésions tuberculeuses ont des caractères très particuliers, qui les rendent facilement reconnaissables dans la majorité des cas (tubercules, grains, processus de caséification, atteinte constante des ganglions lymphatiques) mais leurs localisations sont très diverses.

Les formes cliniques les plus fréquentes sont la forme pleuro-pulmonaire et la forme digestive ou intestinale.

Les animaux, parvenus à un stade lésionnel très avancé, ne sont pas obligatoirement en mauvais état général : ils peuvent présenter tous les signes apparents d'une bonne santé.

Le diagnostic clinique doit toujours être confirmé par un test tuberculinique positif.

Traitement : à n'entreprendre en aucun cas car ses résultats sont des plus aléatoires et son prix de revient fort onéreux. En outre, on risque de conserver des porteurs de germes.

Prophylaxie : la tuberculose est l'objet d'une législation sanitaire très approfondie dans tous les pays qui essaient de l'éliminer. Les règles générales suivantes sont à préconiser :

1) abattage sans délai des malades cliniques ;
2) surveillance du cheptel par des tests tuberculiniques réguliers ;
3) envoi à la boucherie des animaux réagissant positivement à la tuberculination ;
4) reconstitution de troupeaux indemnes, avec des noyaux d'animaux sains.

Les différents procédés de vaccination du bétail utilisés jusqu'à présent n'ont donné que des résultats décourageants.

VI

TECHNIQUES DES PRÉLÈVEMENTS DESTINÉS AUX LABORATOIRES DE DIAGNOSTIC

A. QUELS PRÉLÈVEMENTS SONT A FAIRE ?

1. Si les animaux présentent des lésions à l'autopsie, il faut bien entendu prélever tout ou partie des organes ou des tissus atteints.

Exemples : fragment de poumon, dans les pneumonies ;
liquide pleural, dans les pleurésies ;
fragment de muscle lésé, dans les tumeurs musculaires ;
pus, si l'on observe des abcès ;
fèces, dans les entérites.

2. Si les animaux ne présentent pas de lésions localisées il y a lieu d'envoyer au laboratoire les prélèvements suivants, effectués **de façon systématique** :

— plusieurs frottis de sang sur lame ;
— du sang, prélevé de préférence à la période agonique, auquel il est recommandé d'ajouter du citrate de soude (anticoagulant) à la dilution finale de 1/200 ;
— un fragment de rate ;
— des ganglions lymphatiques non incisés ;
— un os long, de préférence le canon (métacarpe ou métatarse), qui est désarticulé, soigneusement décharné, puis enveloppé à sec dans de la gaze.

3. Pour les examens sérologiques, le sérum sanguin, recueilli après coagulation du sang et rétraction du caillot peut être envoyé au laboratoire après avoir reçu un antiseptique: 3 à 4 gouttes de chloroforme pour 10 ml, merthiolate de soude à 1/5000 en dilution finale, acide phénique à 0,5 p.100.

Si l'on dispose de flacons stériles, il est commode d'envoyer du sang total prélevé à la seringue et sans anticoagulant.

Les tests sérologiques fournissent le maximum d'indications lorsque le sérum est prélevé un certain temps (12 à 15 jours au moins) après le début de la maladie ou pendant la convalescence.

4. Quelques maladies nécessitent des prélèvements particuliers :

a) **Heart-water** : frottis d'écorce cérébrale ou de raclage de la face interne d'une grosse artère, effectués moins de deux heures après la mort.

b) **Rage** : à partir du cerveau d'un animal suspect de rage et mort naturellement, on doit préparer deux prélèvements à envoyer simultanément au laboratoire :

— une partie est immergée dans une solution de formol à 10 p.100 ;
— l'autre dans de la glycérine neutre diluée au 1/2 avec du sérum physiologique.

c) **Botulisme** :

— fragments volumineux du foie, prélevés dès la mort et envoyés sous glace,
— contenu d'une anse intestinale.

d) **Maladie de Teschen**
— cerveau en glycérine à 50 p.100 (comme pour la rage).
e) **Affections cutanées** : croûtes, squames, poils des lésions.

5. Pour les maladies parasitaires (helminthoses) il faut envoyer:
a) des fèces, dans une solution de formol à 5 p.100 ;
b) les parasites eux-mêmes, dans la même solution de formol ou dans l'alcool à 70°.

6. Ces recommandations sont valables pour toutes les espèces animales, excepté pour les espèces de très petite taille.
Dans ce dernier cas, il est utile d'envoyer des cadavres entiers (et même des animaux malades encore vivants, des poussins par exemple).

B. RÉCOLTE DES PRÉLÈVEMENTS

1. Effectuer les prélèvements sur le cadavre aussitôt après la mort. Ne jamais opérer plus de 6 heures après la mort, à moins que, s'agissant d'un petit animal, le cadavre ait pu être conservé au froid. Toutes les fois que cela est possible, utiliser le cadavre frais d'animaux **sacrifiés au cours de la période agonique**.
On ne peut rien attendre de prélèvements effectués sur des cadavres en voie de putréfaction.
2. Opérer rapidement et, si possible, à l'abri du vent et des poussières.
3. Veiller à effectuer les prélèvements avec la plus grande propreté, sinon dans des conditions stériles. Les instruments et les récipients doivent avoir subi au moins durant quinze minutes la température de 100°C (ébullition simple au bain-marie).

C. EMBALLAGE ET ENVOI DES PRÉLÈVEMENTS

1. Les récipients contenant les prélèvements doivent pouvoir être placés facilement sous glace en bouteille thermos ou en emballage isotherme (polystyrène expansé). On choisira de préférence des flacons à bouchage à vis, des flacons type Pénicilline, des boîtes en matière plastique ou des sachets en polyéthylène.
2. Ces récipients seront étanches, donc solides et bouchés de façon à éviter toute perte de liquide (bouchons spéciaux des flacons types Pénicilline maintenus par un morceau de sparadrap, bouchons de liège ou en caoutchouc cachetés à la cire ou paraffinés).
3. Les flacons ou les récipients contenant les prélèvements doivent pouvoir s'identifier facilement par le moyen d'étiquettes ou **d'inscriptions indélébiles** : ces indications seront d'ailleurs reportées sur la fiche de renseignements.
4. Ils seront enveloppés d'une couche suffisante de coton cardé, de laine de verre ou de mousse plastique, pour amortir les chocs contre les parois du conteneur isotherme et par là empêcher leur bris.
5. L'emballage extérieur peut être en bois, en carton, ou en métal : par contre,

il doit **obligatoirement** être conçu de façon telle qu'aucun liquide issu des prélèvements ne puisse suinter à l'extérieur (emploi de matière absorbante : sciure de bois, copeaux, liège en poudre, etc.).

6. Pour certaines maladies très dangereuses ou à grand pouvoir de diffusion, les organisations sanitaires internationales ont prescrit, dans un souci de sécurité, des normes impératives d'emballage des prélèvements (fièvre aphteuse, peste équine, etc.).

7. Les prélèvements doivent être adressés au laboratoire, toujours accompagnés d'une fiche de renseignements dont on trouvera ci-après un modèle.

MODÈLE DE FICHE :

N° de référence :

Nom, fonction et adresse de l'expéditeur :

Date et lieu du prélèvement (distance en kilomètres d'un centre important et orientation par rapport à ce centre, coordonnées) :

Intervalle de temps entre le moment de la mort et celui du prélèvement :

Espèce, sexe, âge de l'animal sur lequel a été effectué le prélèvement :

Nature du prélèvement :

Nature de la recherche demandée :

Résultat de l'examen clinique :
— de l'animal sur lequel a été effectué le prélèvement :
— des autres animaux du troupeau présentant apparemment la même maladie :

Résultat de l'autopsie (s'il y a lieu) :

Maladie suspectée (s'il y a lieu) :

Effectif du troupeau où le prélèvement a été effectué :

Nombre de malades dans le troupeau à la date du prélèvement (malades actuels en précisant si la morbidité est en relation avec certains facteurs âge, sexe, etc.) :

Nombre de morts dans le troupeau à la date du prélèvement :

Mode et date d'expédition (la date sera indiquée au moins sur l'exemplaire de la fiche qui sera expédié par la poste) :

Observations (sous cette rubrique, on pourra noter toute constatation ou renseignement pouvant présenter un intérêt pour l'orientation du diagnostic) :

CHAPITRE XIX

AVICULTURE

L'aviculture est le secteur de production animale qui a connu le développement le plus spectaculaire au cours des dernières années.

Deux grands types d'élevage cohabitent dans la plupart des pays tropicaux.

1. L'élevage intensif faisant appel à des techniques élaborées et des investissements importants.

2. L'élevage traditionnel et artisanal qui reste très important et bien adapté dans de nombreuses régions.

La partie alimentaire des volailles a été traitée au chapitre XIII dans la partie réservée à l'alimentation des monogastriques.

3. Nous avons souhaité garder dans ce chapitre, compte tenu de sa spécificité, la pathologie aviaire.

1. QUELQUES DONNÉES SUR L'ÉLEVAGE INTENSIF DES VOLAILLES

L'élevage intensif des volailles exige aujourd'hui l'application précise de techniques diverses et complexes afin d'assurer les conditions de production les plus satisfaisantes possibles.

L'objectif des tableaux ci-après est de proposer quelques points de repère essentiels sur les méthodes d'élevage et d'alimentation à observer en régions chaudes :

Normes d'implantation des bâtiments (Tableau 1).
Schéma de poulailler « ouvert » pour climat chaud (Figure 1).
Densités pour l'élevage au sol en ventilation statique en climat (Tableau 2).
Caractéristiques de différents matériels de ponte en cages et batteries (Tableau 3).
Quelques types d'équipement manuel et automatique pour l'élevage (Figure 2).
Normes d'élevage du poulet de chair (Tableau 4).

Disposition du matériel pour 650 poussins (Figure 3).
Normes de température du poulet de chair (Tableau 5).
Eclairement de la poule pondeuse en élevage et en ponte (Tableau 6).
Opérations de nettoyage et de désinfection d'un poulailler (Tableaux 7 et bis).
Résultats moyens de testage de souches 1985-1986 (Tableau 8).

Les informations ainsi rassemblées ne constituent que des données de base, qu'il sera indispensable de compléter par la consultation de manuels généraux ou spécialisés dans les différents domaines de l'élevage des volailles (quelques suggestions sont présentées après les tableaux).

NORMES D'IMPLANTATION DES BÂTIMENTS – Tableau 1

TERRAIN — plat — perméable — non inondable — prévoir plantations de 2 ou 3 rangées d'arbres à feuillage permanent contre l'ensoleillement
DISTANCE — sujets de même âge = 1,5 à 3 fois largeur du bâtiment — sujets d'âges différents = 500 mètres
ORIENTATION — perpendiculaire aux vents dominants (avec une possibilité d'écart de 30 à 45° de part et d'autre de cette direction)
ACCÈS — 1 pour aliments + animaux (zone propre) — 1 pour déjections, litières, cadavres (zone contaminée)

DENSITÉS POUR L'ÉLEVAGE AU SOL EN VENTILATION STATIQUE EN CLIMAT CHAUD – Tableau 2

Type de volailles	Nbre sujets/m²	Observations
— Poulets de chair	10	sur litière complète
— Poulettes (futures pondeuses)	10	de 0 à 8 semaines
	8	après 8 semaines
— Pondeuses demi-lourdes	5	sur litière totale
	6	litière + 30-50 % caillebotis
	7	litière + 60-75 % caillebotis
	8	caillebotis complet
— Reproducteurs (poules, avec coqs inclus) :		
• type « nanifiés »	4	litière
• type « lourds »	3	litière
• type « nanifiés »	6	litière + 60-75 % caillebotis
• type « lourds »	5	litière + 60-75 % caillebotis

Figure 1

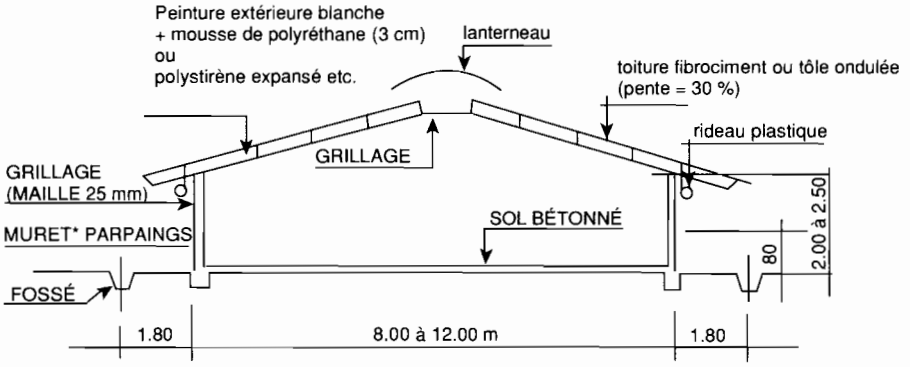


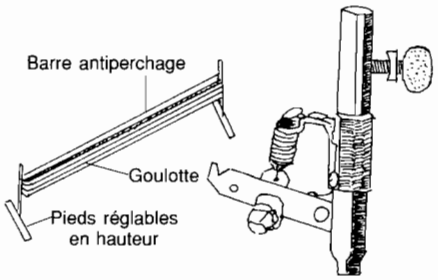
SCHÉMA DE POULAILLER « OUVERT » POUR CLIMAT CHAUD

* La tendance actuelle en climat chaud est de remplacer le muret par du grillage sur toute la hauteur pour améliorer la ventilation naturelle

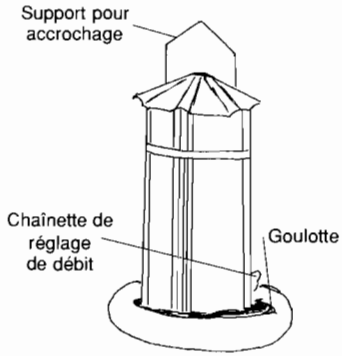
CARACTÉRISTIQUES DE DIFFÉRENTS MATÉRIELS DE PONTE EN CAGES ET BATTERIES – Tableau 3

Type de matériel	Encombrement moyen (m) (en largeur) hors-tout	Densité moyenne (sujet/m² de bâtiment)	Investissement	Conduite de l'élevage	Collecte des œufs	Remarques
Flat deck	2-3	20-24	élevé	bonne	automatique	• Convient à des unités importantes automatisées
Californiennes (2 étages)	2-2,2	12-14	le plus faible	bonne	manuelle	• Simplicité du matériel • Convient bien en climat chaud aux bâtiments à ventilation statique • Raclage des fientes aisé • Encombrement important
Californiennes (3-1 étages)	1,4-2,05	14-32	assez intéressant	moyenne	autom. (mais onéreux) ou manuelle	• Densité intéressante • Difficultés de surveillance au dernier étage • Abreuvoirs souvent mal placés • Ventilation dynamique
Cages dites « compact » (3 à 5 étages)	1,75	29-32	assez élevé	moyenne (éclairage)	autom. ou manuelle (autom. à partir 4 étages)	• Raclage des fientes facile • Ventilation facilitée
Batteries (-6 étages)	1,35-2 m	19-50	élevé	moyenne	automatique	• Entretien délicat • Possibilités de pannes lors du raclage des fientes • Réglage de ventilation délicat • Permet éventuellement le séchage des fientes

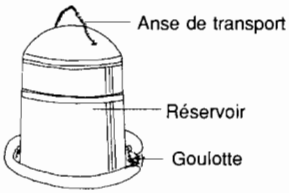
QUELQUES TYPES D'ÉQUIPEMENT MANUEL ET AUTOMATIQUE POUR L'ÉLEVAGE AU SOL – Figure 2



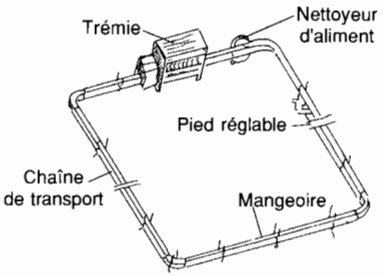
Abreuvoir linéaire



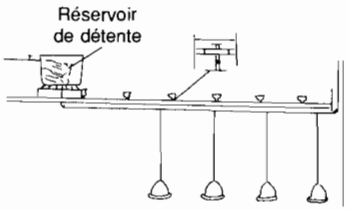
Trémie d'alimentation à suspendre, en galvanisée remplissage manuel.



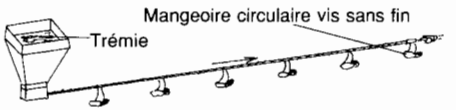
Abreuvoir syphoïde à remplissage manuel, existe en tôle galvanisée ou plastique



Chaîne d'alimentation
Chaîne de transport



Abreuvoirs circulaires automatiques montés en série



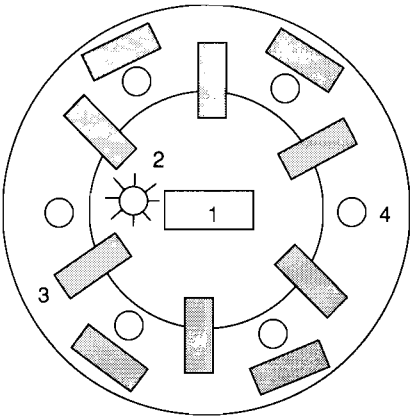
Chaîne d'alimentation à vis sans fin

NORMES D'ÉLEVAGE DU POULET DE CHAIR – Tableau 4

	Démarrage	Élevage
Chauffage	1 radiant 3 000 kcal/800 poussins 1 radiant 1 400 kcal/650 poussins	
Abreuvoir	1 point d'eau pour 100 poussins 4 mini siphoïdes + 2 abreuvoirs ronds nouveaux	1 abreuvoir/130 poussins
Mangeoires	1 plateau ou alvéole/100 poussins + chaîne	1 assiette/70 poussins 50 m d'accès/1 000 poussins
Lumière	5 watt/m2 50 Lux	0,7 watt/m^2 5 Lux
Ventilation		3,5 à 5 m^3/h/kg poids vif suivant le climat
Litière	10 cm de copeaux de bois blanc non traité 10 cm de paille saine hachée	
Densité	40 poussins par m^2	

Institut de sélection animale. Guide d'élevage du poulet de chair.

DISPOSITION DU MATÉRIEL POUR 650 POUSSINS – Figure 3



1. Radiant de 1 450 k cal pour 650 poussins.
2. Ampoule de 75 W à 1,50 m au-dessus du sol.
3. 10 plateaux
4. 2 à 3 abreuvoirs pour adultes et 4 mini syphoïdes
5. Garde : Ø 4,50 M
   climat froid : garde en carton
   climat chaud : garde en grillage

Réf. Institut de Sélection Animale, Guide d'Élevage du Poulet de Chair

NORMES DE TEMPÉRATURE – Tableau 5

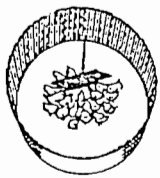
Âge en jours	Chauffage par éleveuse		Chauffage d'ambiance
	Température au bord de l'éleveuse	Température dans la zone de vie	Température dans la zone de vie
0-3	38° C	28-29° C	31-33° C
4-7	35° C	28° C	31-32° C
8-14	32° C	28° C	29-31° C
15-21	29° C	28° C	28-29° C
22-28 (*)		22-28° C	22-28° C
29-35		21-22° C	21-22° C
Après 35		18-21° C	18-21° C

Réf. Institut de Sélection Animale - Guide d'Élevage du Poulet de Chair.



normal

éparpillés largement sous et autour de l'éleveuse BON



trop froid

serrés les uns contres les autres au centre de l'éleveuse MAUVAIS



trop chaud

en rond loin de l'éleveuse MAUVAIS

Réf. Jourdain International

ÉCLAIREMENT EN ÉLEVAGE
ÉLEVAGE ET PONTE EN POULAILLERS OBSCURS
(Intensité de la lumière perceptible inférieure à 0,5 lux). – Tableau 6

Âge	Période d'éclairement quotidien	Intensité	
		Watts/m2	Lux
JUSQU'À 16 SEMAINES			
1-2 jours	22 h	3-4	20-40
3-4 jours	20 h	3	20-30
5-6 jours	18 h	3	20-30
7-8 jours	16 h	2	10-20
9-10 jours	14 h	2	10-20
11-12 jours	12 h	2	10-20
13-14 jours	10 h	1	5-10
15-112 jours	8 h	1	5-10
112-118 jours	8 h	1	5-10
119-125 jours	9 h	3	20-30
126-132 jours	10 h	3	20-30
133-139 jours	11 h	3	20-30
140-146 jours	12 h	3	20-30
147-150 jours	12 h 30	3	20-30
154-182 jours	augmentation d'1/2 h/sem.	3	20-30
Après 183 jours	15 h	3	20-30

N.B. : En poulailler clair (ouvert), augmenter la durée d'éclairement à partir de 20 semaines par un complément de lumière artificielle.

Réf. Institut de Sélection Animale

OPÉRATIONS DE NETTOYAGE ET DE DÉSINFECTION
D'UN POULAILLER (Tableau 7)

Nettoyage :

1) Retirer (s'il y a lieu) la litière, ou les déjections ; les stocker ou les épandre le plus loin possible.
2) Sortir tout l'équipement amovible du local.
3) Passer au jet d'eau local et matériel (ou pompe à eau à vapeur ou à pression) mais couper le courant, et prendre garde à la résistance des parois.
4) Nettoyer, dépoussiérer les parties hautes (si possible à l'aspirateur industriel).
5) Gratter, brosser (brosse chiendent) les parties encrassées, les angles avec de l'eau plus un détergent ou une lessive puissante.
6) Rincer à l'eau claire.

Désinfection :

1) Tremper le matériel dans une solution désinfectante ou effectuer une pulvérisation de ce matériel (on peut utiliser en élevage fermier un pulvérisateur horticole à main).
2) Arroser le sol avec une solution désinfectante et (ou) brosser, pulvériser, vaporiser les autres parties du local.
3) Pulvériser sur les parois un insecticide (demander conseils au vétérinaire ou aux services officiels).
4) Badigeonner éventuellement les parois d'un lait de chaux (pour les petites unités de production).
5) Traiter au carbonyle les parties en bois (nids, caillebotis).
6) Penser à nettoyer les silos (s'il y a lieu) ou tout autre équipement de stockage d'aliments (attention aux moisissures !), les réserves d'eau.
7) Mettre en place des appâts pour rongeurs ; colmater les fissures d'accès.
8) Replacer l'équipement dans le poulailler :
   — en poulailler sans fenêtre (obscur) : formoliser,
   — en poulailler « ouvert » : laisser pénétrer largement le soleil.
9) Laisser le poulailler en repos (vide sanitaire) au moins 2 semaines consécutives avant de l'occuper à nouveau.

PRODUITS UTILISABLES POUR LE NETTOYAGE ET LA DÉSINFECTION DES POULAILLERS – Tableau 7 bis

PRODUIT	MODE D'UTILISATION	ACTIONS	EFFICACITÉ DE DÉSINFECTION ET OBSERVATIONS
Savons, lessives	dans l'eau de lavage	décapage	très faible
Vapeur sous pression		lavage, désinfection	assez bonne, efficace contre parasites
Eau de Javel	dans l'eau peu calcaire (dilué à 10 %)	lavage, désinfection	bonne, produit économique
Crésyl	idem (dilué à 4 %) (si eau pas trop calcaire)	idem	idem (à utiliser également dans pédiluves)
Ammoniums quaternaires	idem (2 %)	idem	idem
Soude caustique	idem (4-8 %)	idem	efficace mais dangereux à manipuler et corrosion des métaux
Iode	(voir produits commerciaux)	désinfection	utile pour désinfecter l'eau de boisson et tuyauteries

PRODUIT	MODE D'UTILISATION	ACTIONS	EFFICACITÉ DE DÉSINFECTION ET OBSERVATIONS
Formol	— dans l'eau (1-5 %) — en pulvérisation — en fumigation : (4 parties d'eau, 4 parties formol, 2 parties permanganate de potasse), soit 3,2 litres/m^2 de local. Placés dans des récipients répartis à la surface du poulailler	désinfection idem	bonne bonne si : 1. bâtiment bien étanche et bien fermé 2. température + 25° C 3. humidité sur parois et dans l'air

D'après Y. SALICHON

Performances des souches

En élevage intensif avicole, la notion de résultat technique est essentielle car directement liée aux résultats économiques. Il est cependant délicat de faire état de performances moyennes d'élevages sans une description détaille de l'environnement (bâtiments, techniques d'élevage, climat, alimentation, microbisme ...). Les moyennes citées à titre indicatif dans le tableau 8 se réfèrent aux résultats de testage de la station de Ploufragan 1985-1986, publiés sous les titres « Vingt-deuxième épreuve pour reproducteurs de type chair », Bulletin d'Information de la Station Expérimentale d'Aviculture de Ploufragan, vol. 26, n° 2 et « Vingt-sixième épreuve de ponte », même publication, vol. 26, n° 3. Ces épreuves ont été réalisées dans des conditions très rigoureuses correspondant à de très bonnes conditions pratiques françaises décrites dans la publication. Huit et sept souches commerciales européennes de volailles respectivement de souche chair et ponte ont été comparées au cours de ces tests.

RÉSULTATS MOYENS DE TESTAGES DE SOUCHES – Tableau 8
1985-1986
Bulletin de la Station expérimentale d'aviculture de Ploufragan, vol. 26, n° 2 et 3.

a) REPRODUCTEURS CHAIRS (sur 293 jours de production)

	Nombre d'oeufs produits par poule départ			Nombre de poussins nés	Consom. alim. moy. g/ poussin
	Pondus	Incubables	Fertiles		
Souches nanifiées	150	144	133	122	388
Souches lourdes	152	147	135	122	493

b) POULETS DE CHAIR (moyennes de 3 tests - 0-42 jours d'âge)

	Mâles	Femelles	Moy. mâles et femelles	Extrêmes/ Souche
Poids vif (PV) g	2 115	1 779	1 947	1 670-2 134
Indice de consom.	—	—	1,80	1,782-1,814
Mortalité %	4,6	2,3	3,4	1,0-5,2
Découpe % PV				
Cuisses	27,4	26,1	26,7	26,4-26,9
Ailes	8,2	8,1	8,2	7,9-8,3
filets	13,9	14,1	14,0	13,4-14,8

c) POULES PONDEUSES (moyennes de 350 jours de ponte à partir du 134e jour d'âge)

	Moyennes/7 souches	Extrêmes/Souches
Nombre d'œufs par poule départ	261,3	237,9 - 284,0
Poids moyen des œufs g	60,9	60,4 - 61,5
Poids d'œuf pondu par jour g/j	46,8	43,7 - 50,2
Consommation d'aliment g/j	110,3	101,8 - 118,0
Consommation/kg d'œuf 134-483 j	2,36	2,25 - 2,48
Consommation/kg d'œuf 1-483 j	2,78	2,63 - 2,93
Œufs non commercialisables %	0,78	0,54 - 1,13
Mortalité %	6,35	3,11 - 11,8

2. QUELQUES DONNÉES SUR L'ÉLEVAGE TRADITIONNEL ET ARTISANAL

L'élevage traditionnel et artisanal reste encore largement développé en pays tropicaux.

Il fait appel à des techniques souvent assez simples.

De même que pour l'élevage intensif, nous proposerons quelques notes, figures et tableaux résumant les principales caractéristiques de cet élevage :

- Performances des principales races (Tableau 9)
- Durée et modalités d'incubation (Tableau 10)
- Types de mangeoires et besoins (Figure 4)
- Types d'abreuvoirs et besoins (Figure 5)
- Arche démontable de Sotuba (Figure 6)
- Arche mobile pour 50 volailles adultes (R.C.I.) (Figure 7)
- Poulailler de ponte démontable (Figure 8)
- Perchoirs (Figure 9)

- Pondoirs (Figure 10)
- Clapier ciment du centre de Sotuba (Figure 11)
- Notes sur : L'élevage des dindons
  L'élevage des pintades
  L'élevage des canards
  L'élevage des lapins

PERFORMANCES DES PRINCIPALES RACES – Tableau 9

RACES	POIDS		PRODUCTION DES ŒUFS			Couleur du plumage
	Coq	Poule	Poids	Nb/an	Déb. ponte	
— Rhode Island Red	3 000 à 3 800 g	2 500 à 3 000 g	51/53 g	135 (a)	160 à 175 j	Rouge acajou
— Sussex	3 000 à 4 000 g	2 800 à 3 500 g	50/54 g	104 (a) 140 (c)	160 à 180 j	Blanche hermi-née
— Leghorn	2 500 à 2 800 g	1 750 à 2 000 g	52 g	125 (a)	160 à 180 j	Blanche
— Rhode Island Redx Sussex				150 (a) à 180 (b)	4 mois 1/2 ou 5 mois	Coq : Sussex Poule : rouge clair Auto-sexable
— Locales en conditions naturelles	1 500 à 2 000 g	600 à 1 200 g	35 g	60/80	4 à 5 mois	
— Locales en station			35/40 g	100		
— Métisses		1 500 à 1 800 g	40/45 g	65 (a)	165 à 185 j	

(a) Bamako (Mali) – (b) Basse Côte-d'Ivoire (Bingerville) – (c) Nigeria

DURÉE ET MODALITÉS D'INCUBATION – Tableau 10

a) DURÉE D'INCUBATION

Poule	20 à 23 j*
Pigeonne	17 à 19 j
Pintade	25 à 28 j
Cane	27 à 29 j
Dinde	28 à 30 j
Oie	28 à 31 j
Cane de barbarie	35 à 37 j

* La durée d'incubation augmente avec la grosseur des œufs.

b) NORMES USUELLES DES CONDITIONS D'AMBIANCE POUR LES INCUBATEURS TRADITIONNELS (œufs de poules)

Période	Température	Humidité (p. 100)	Nbre de retournements quotidiens
1er au 11e jour	38 à 39° C	60 à 65	4
11e au 19e jour	38 à 39° C	60 à 65	immobilité
20e à éclosion	39 à 40° C	70 à 75	

Modalités de l'incubation

—Incubation naturelle

Les poules de races locales sont de très bonnes couveuses et de très bonnes mères (six à huit gros œufs, dix à douze petits). Le nid, garni de paille propre, doit être trempé dans une solution d'HCH avant le début de la couvaison.

—Incubation artificielle

Elle est réalisée dans des incubateurs chez des accouveurs spécialisés.

Il existe encore quelques petits incubateurs à ventilation statique (capacité 50 à 300 œufs) difficiles à régler.

Mangeoires

— 1 mètre de mangeoire pour 10 jeunes en fin d'engraissement. Noter le dispositif de la partie supérieure qui tourne autour de son axe, empêchant ainsi les oiseaux de percher sur la mangeoire.

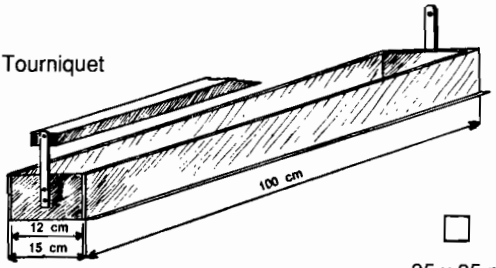
— On réalisera facilement une unité d'alimentation pour 25 poulets, protégée contre la pluie, le soleil et le gaspillage de nourriture à partir d'un bâti en bois et d'une tôle ondulée.

— Pour une bande de 50 poussins, il faut compter s'ils ont de :

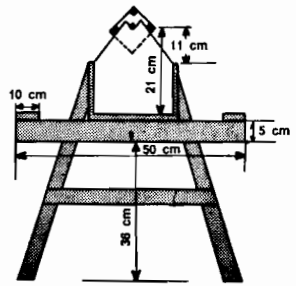
- 1 à 15 jours : 2 mangeoires de 50 cm de long chacune,
- 15 à 60 jours : 3 mangeoires de 50 cm de long chacune,
- 50 à 150 jours : 5 mangeoires de 50 cm de long chacune, ou 3 mangeoires de 1 m de long.

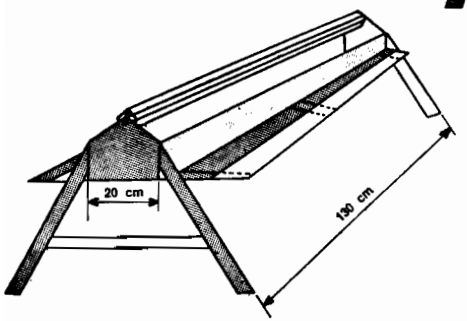
MANGEOIRES – Figure 4

a) Mangeoire pour poulets



b) Mangeoire d'adulte





ABREUVOIRS – Figure 5

Eau propre, nettoyage journalier, deux à quatre fois plus d'eau que d'aliments selon le climat et la saison : en pratique, fournir à volonté.

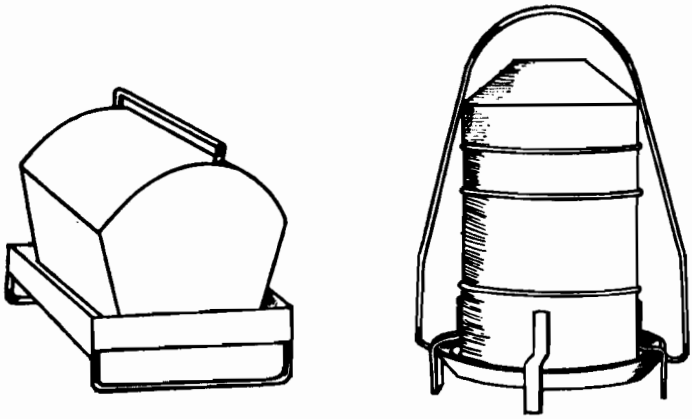
Besoins pour 500 têtes :

Âge des poussins	Nombre d'abreuvoirs	Capacité de chaque abreuvoir siphoïde	Capacité totale
0-15 jours	4	5 litres	20 litres
15-45 jours	4	20 litres	80 litres

— Pour 50 jeunes oiseaux, il faut compter s'ils ont :
- de 1 à 5 jours : 2 abreuvoirs de 2 litres,
- de 15 à 60 jours : 4 abreuvoirs de 2 litres,
- de 60 à 150 jours : 2 abreuvoirs de 5 litres.

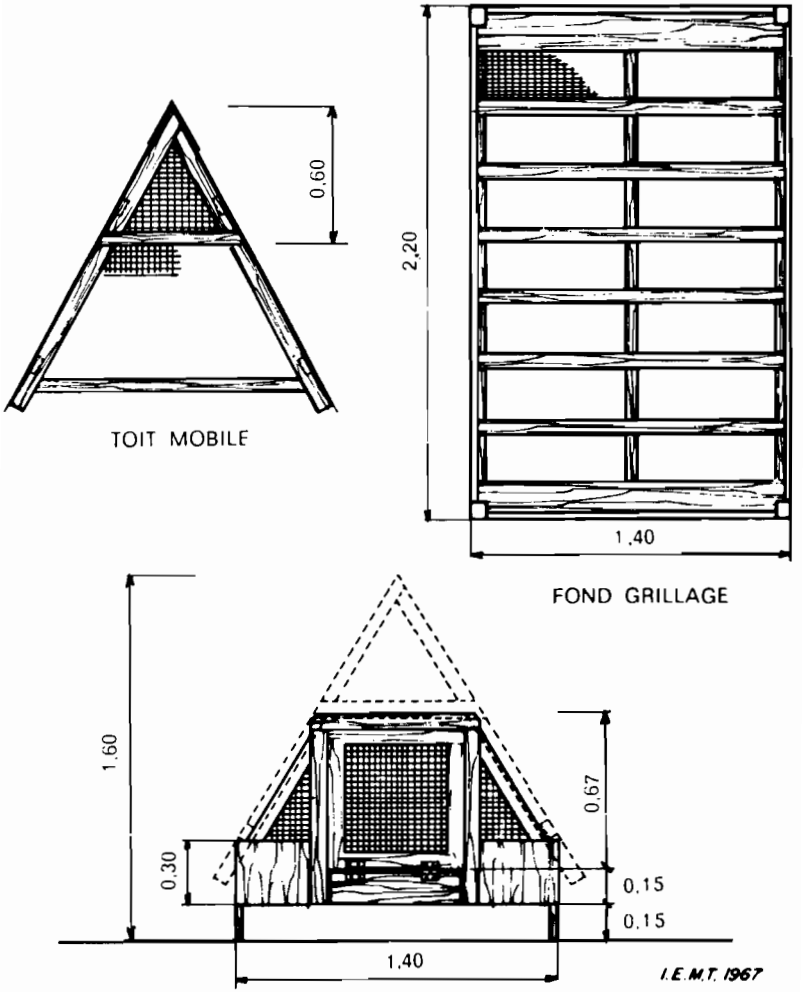
— Pour 50 pondeuses, il faut, suivant la saison, de 10 à 20 litres d'eau par jour.

Les mangeoires et abreuvoirs seront placés dans les endroits protégés du soleil et de la pluie.



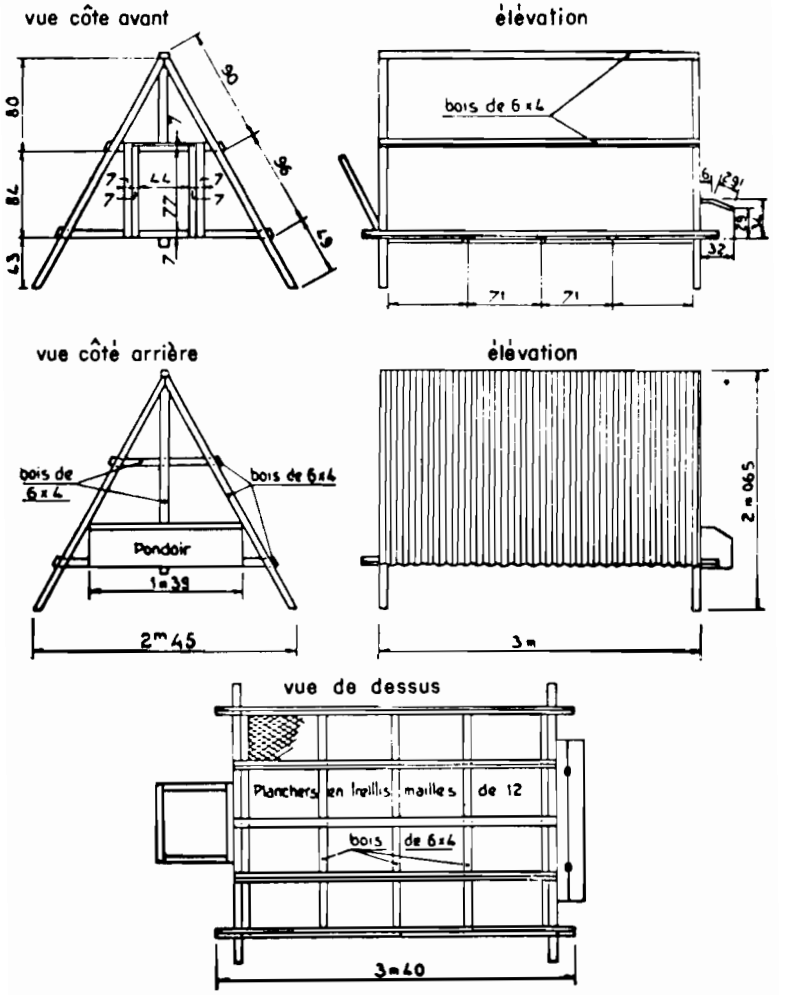
TYPES D'ABREUVOIRS POUR POULETS

ARCHE DÉMONTABLE DE SOTUBA – Figure 6



ARCHE ASSEMBLÉE
Plan d'arche mobile pour 25 volailles adultes
(Centre de Recherches Zootechniques de Sotuba - République du Mali)

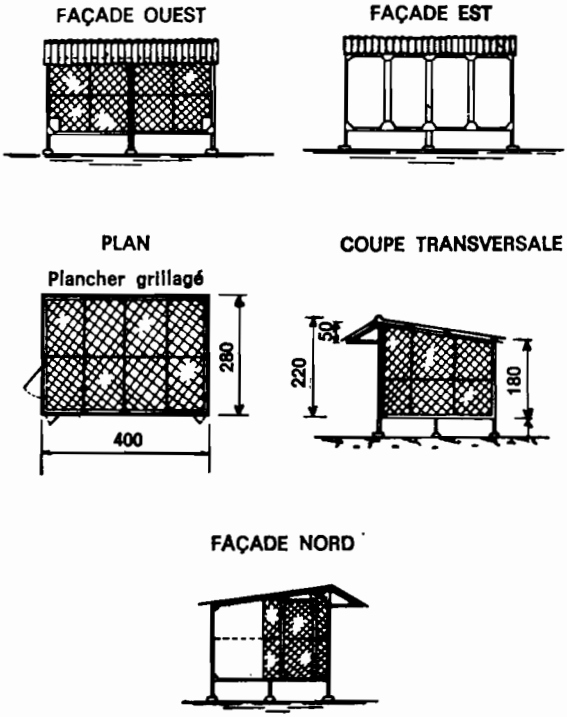
PLAN D'ARCHE MOBILE POUR 50 VOLAILLES ADULTES – Figure 7



(Service de l'élevage de la République de Côte d'Ivoire)

POULAILLER DE PONTE DÉMONTABLE – Figure 8

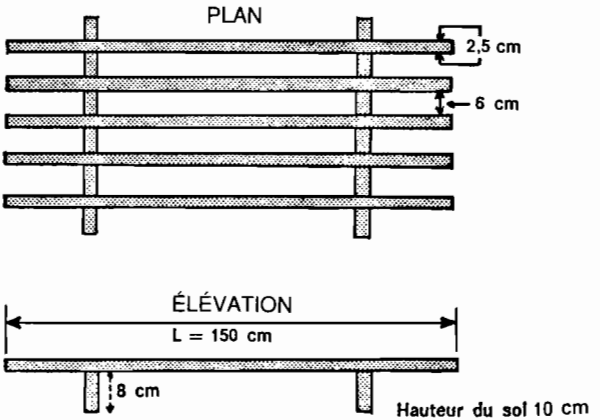
— Prévoir pour abriter 50 à 60 oiseaux.
— Longueur 4 m, largeur 2,80 m.
— Fond à 0,40 m au-dessus du sol, en grillage fort à maille de 20 x 20.
— Armature en fer cornière de 40 et fer à T de 30.
— Toiture en fibrociment ondulé avec auvent en façade ouest.
— Façade ouest grillagée. 2 trappes de 0,20 x 0,20 dans les angles inférieurs.
— Façade est garnie de plaques planes de fibrociment.
— Parois nord et sud à demi recouvertes de fibrociment plan, l'autre moitié étant constituée par une porte grillagée.



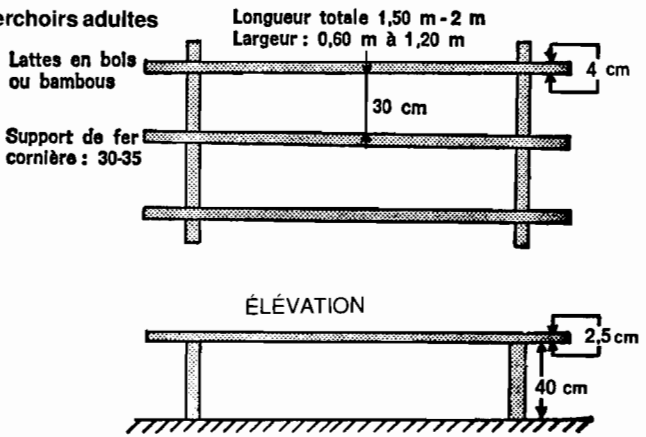
PERCHOIRS – Figure 9

— Poussins : 2,50 m pour 100 poussins.
— Poules : 0,25 m par poule — intervalle entre les lattes : 0,30 m ; lattes à coins rabattus ; 0,04 x 0,025. Jamais de perchoirs à section ronde qui fatiguent les volailles.

a) Perchoirs poussins

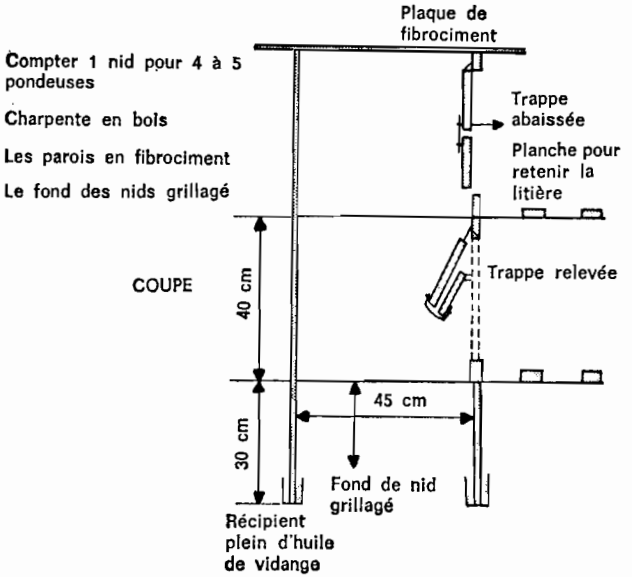


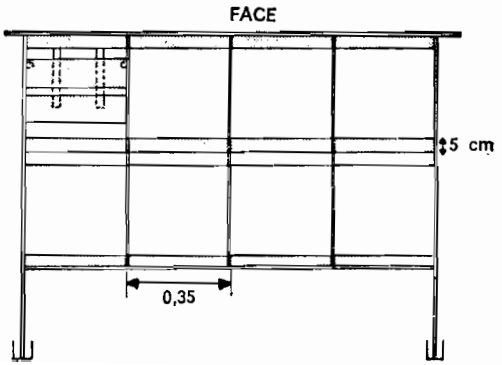
b) Perchoirs adultes



PONDOIRS – Figure 10

— Un nid pour 5 à 6 pondeuses
— Dimensions : longueur (profondeur) : 0,45 m
largeur : 0,35 m
hauteur : 0,40 m
— Fond grillagé pour permettre une bonne circulation d'air (garnir feuilles de maïs ou foin fin).
— Parois en bois traité à l'épreuve des termites (Xylophène).





NOTE SUR L'ÉLEVAGE DES DINDONS

Volaille d'origine américaine.

L'élevage existe depuis quelques années en Afrique tropicale : Ghana, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Zaïre, etc. Les dindons proviennent d'importations de races originaires d'Europe ou d'Amérique.

Races

Les plus connues sont :

— en France, le dindon commun (dindon de Normandie), noir ou blanc, le dindon noir de Sologne, le dindon rouge des Ardennes ;

— en Amérique : le Bronzé à large poitrine, gros, très précoce,
le Blanc à large poitrine,
le petit Beltsville blanc, très bonne conformation pour la production de viande ;

poids : adulte mâle 10 à 15 kg - femelle 6 à 10 kg
jeune mâle 6 kg - femelle 4 à 5 kg
Beltsville mâle (8 mois) 6 kg - femelle 5 kg
(normes en climat tempéré).

Elevage familial

— possible toute l'année (protéger les couvées de la pluie pendant l'hivernage) par bandes de quelques oiseaux ;

— nécessité de grandes surfaces : pâturage diurne en troupeau, pour varier l'alimentation et prendre de l'exercice ;

— bâtiments semblables à ceux décrits pour poussins ou pondeuses, espace individuel de 0,65 m² (races géantes) ou 0,50 m² (petite taille).

Alimentation

Caractéristiques des aliments pour dindons :

Aliments	0 à 8 sem.	8 à 16 sem.	Adultes
Matières protéiques	24 %	20 %	15 à 16 %
Vitamines A (en U.I.)	7 500/8 000	8 000	8 000
Vitamines D (en A.O.A.C.)	1 600	1 600	1 600
Calcium (en %)	2	2	2,30
Phosphore (en %)	1	1	0,75
Sel (en %)	0,50	0,50	0,50

Pendant les 10 premiers jours, distribution de la composition suivante :

— aliment poussin 1er âge : 1 kg
— 2 œufs durs finement hachés
— 1 poignée de maïs cuit
— 1 cuillerée à soupe de poisson sec pulvérisé
— 1 cuillerée à soupe de coquilles d'huîtres
— 1 cuillerée à soupe de coquilles d'œufs
— 1 pincée de charbon de bois
— 1 piment rouge finement haché

— quelques feuilles de salade finement hachées
le tout bien mélangé et légèrement humecté (eau ou lait écrémé).

La consommation journalière d'aliment est de 200 g du 3e au dernier mois et de 300 g le dernier mois.
— Les animaux sont sacrifiés à 8 mois pour la consommation.
— Les installations seront désinfectées toutes les semaines.

Reproduction

La ponte débute entre 18 et 24 mois. La dinde pond 15 à 20 œufs en 3 ou 4 semaines, puis se met à couver. La production est de 60 à 80 œufs par an.
— Maximum de fécondation avec un dindon de 24 mois au moins pour 4 à 6 femelles (lourdes), pour 8 à 10 (légères).
— Nids à même le sol, à 50 cm au maximum : 2 nids pour 10 dindes ; h : 60 cm, profondeur : 70 cm, largeur : 45 cm.

Incubation. On met à incuber des œufs d'une semaine au maximum, conservés à 12-15° C et une humidité relative de 75 %.
L'incubation dure 28 jours. On obtient en moyenne 50 dindonneaux par an par dinde reproductrice.
Dans les élevages de production semi-industrielle, l'incubation artificielle se fait dans des appareils et des conditions identiques à celles des œufs de poule.

NOTE SUR L'ÉLEVAGE DES PINTADES

Les pintades sont originaires d'Afrique.

Les races

Les deux races les plus courantes sont :
— la pintade commune ou pintade à caroncules rouges *(Numida meleagris)*, souche de la pintade domestique ;
— la pintade à pinceau ou pintade à caroncules bleues *(Numeda ptilorhyncha)*, très répandue à Madagascar et à la Réunion.
Les femelles sont plus lourdes que les mâles.

Modalités d'élevage

Elles doivent tenir compte du comportement peureux, grégaire et bruyant des pintades. Les élevages importants en bande unique nécessitent des bâtiments obscurs ou dotés d'un éclairage artificiel de faible intensité. Avec un éclairage naturel, les lots seront réduits.
La pintade est plus résistante à la chaleur que le poulet et supporte les climats humides. Son aire de dispersion correspond aux zones chaudes et sèches.
Trois modes d'élevage sont pratiqués.

Elevage en liberté

L'élevage des pintades en liberté est le seul mode d'élevage pratiqué en Afrique, à quelques exceptions près. Parfois, une partie des pintades est rentrée le soir, dans des poulaillers où les espèces de volailles sont mélangées, mais la majeure partie passe la nuit dans des arbres autour des maisons.

Parmi les améliorations aisément réalisables, on peut citer la mise à la disposition des volailles d'eau de boisson et la protection sanitaire.

Celle-ci est difficile à réaliser chez les adultes qui ne rentrent pas en poulaillers, mais aisée chez les pintadeaux, surtout s'ils sont menés par une poule qui consent à se laisser enfermer.

Elevage en semi-liberté

• *Elevage des pintades de chair*

L'élevage en volière, c'est-à-dire en parcs entourés de grillage et recouverts d'un filet, était répandu dans le sud de la France et en Italie il y a une vingtaine d'années.

Pour 1 000 pintadeaux, il faut prévoir un bâtiment de démarrage de 24 m^2 occupé pendant les trois premières semaines. Celui-ci communique avec une installation d'élevage où sont ensuite transférés les pintadeaux et qui comporte un abri de 40 m^2, muni de perchoirs et prolongé par une volière de 200 m^2.

Ces installations doivent être implantées sur des sols perméables et présentant une légère pente pour l'écoulement des eaux.

• *Elevage des reproducteurs*

Les installations d'élevage comportent un bâtiment muni de perchoirs communiquant avec un parc plus ou moins vaste, entouré d'un grillage de 1,5 à 2 m de haut. Dans ces conditions d'élevage, il est indispensable d'éjointer les pintadeaux destinés à la reproduction. Ce procédé consiste à amputer l'extrémité d'une aile au niveau de l'articulation la plus distale. Il empêche les oiseaux de voler en les déséquilibrant.

La plupart du temps les pintades pondent où bon leur semble.

Elevage en claustration

Ce type d'élevage, où les oiseaux n'ont pas accès à un parcours extérieur, a supplanté, en Europe, l'élevage en semi-liberté, parce qu'il permet d'obtenir des performances d'élevage meilleures et d'utiliser des effectifs plus importants.

• *Elevage des pintades de chair*

On peut utiliser des bâtiments clairs ou obscurs.

Pour les bâtiments clairs, afin d'éviter les accidents dus aux paniques, les bandes ne devront pas être trop nombreuses (500 au plus) et la densité au mètre carré devra rester assez faible (de 8 à 10 au m^2).

Dans les bâtiments obscurs, les bandes pourront atteindre des effectifs plus importants (plusieurs milliers de sujets) et la densité au mètre carré pourra être portée à 12.

• *Elevage des reproducteurs*

Les pintades reproductrices sont exploitées au sol ou en batterie.

Dans les élevages au sol, les densités sont de 3 à 5 sujets au mètre carré et les bâtiments sont le plus souvent équipés de perchoirs.

Performances de ponte et de reproduction

La ponte débute à 31 semaines. En Afrique tropicale, la ponte n'a lieu qu'en saison des pluies et pendant les quelques semaines suivantes.

Les performances obtenues dans les élevages de type industriel sous climat tempéré sont les suivantes :
— durée de ponte : 40 semaines,
— élevage en batterie : 170-180 œufs pondus par femelle, dont 150 bons à incuber ; 110 pintadeaux,
— élevage au sol : 70 à 100 œufs à couver par femelle ; 40 à 60 pintadeaux.

Besoins alimentaires

Ceux-ci ne sont connus avec précision que pour les pintades élevées en bâtiments.

Croissance
Les performances sont moins bonnes que celles du poulet. Dans les conditions d'élevage industriel, les indices de consommation sont compris entre 3,1 et 3,5 pour un âge d'abattage compris entre 12 et 13 semaines et un poids moyen vif de 1,2 à 1,3 kg.

Reproduction
Pendant sa vie, la pintade consomme en moyenne 43 kg d'aliment, soit 12 kg pendant sa période de croissance et 31 kg pendant sa période de ponte.
Les caractéristiques nutritionnelles des aliments destinés aux pintades sont voisines de celles du poulet, mais des pourcentages de lysine et de méthionine recommandés dans les aliments croissance et ponte sont légèrement plus élevés pour les pintades.

NOTE SUR L'ÉLEVAGE DES CANARDS

Race des canards
Il existe en fait deux espèces différentes :
— le canard de Barbarie ou canard musqué, peu précoce, poids : 5 kg adulte ;
— le canard domestique, dont plusieurs races ont été importées :
  • canard de Rouen : gris clair, col vert : canetons pensant 2,5 kg à 12 semaines ;
  • canard kaki Campbell : beige : ponte 200 œufs par an et même plus ;
  • canard de Pékin : entièrement blanc, à croissance très rapide : canetons 2,5 kg à 8 semaines, adultes 4 kg ;
— le mulard : hybride entre les deux espèces précédentes, animal stérile, s'engraissant très vite, chair de bonne qualité.

Modalité de l'élevage

• *Logement*
— Pour la production du caneton de chair, l'élevage en plein air sur parcours ou la claustration peuvent convenir comme pour les poulets.
— Pour l'élevage de reproduction : la disposition d'un plan d'eau est très souhaitable : le canard féconde presque toujours la femelle dans l'eau. Les bâtiments d'élevage, ou canardières, sont alors installés au bord d'une pièce d'eau.

Dimensions : canardières : 3 à 4 adultes par m^2 ;
parcours : 100 adultes au maximum par hectare, avec une rotation fréquente ; le canard dégradant la végétation plus rapidement que les poulets.

• *Alimentation*

Les canards utilisent beaucoup mieux la cellulose que les poulets, aussi la distribution de « verdure » hachée est-elle de règle dans la composition des rations.

— 1 à 7 jours : farine de maïs, pain émietté, œufs durs hachés, verdure hachée, lait frais ;

— 8 jours à 4 semaines : aliment « poussin 1er âge », titrant 20 à 22 % de matières protéiques totales, plus des brisures de riz trempées et de la verdure hachée ;

— après 4 semaines : aliment « poussin 2e âge », 16 à 18 % de matières protéiques totales avec une bonne proportion de verdure hachée ;

— adultes : nourriture identique à celle des poules pondeuses, plus au moment de la ponte un peu de poisson séché, d'igname, de patate douce.

Quantités consommées par semaine

Âge	Pékin (chair)	Kaki Campbell (ponte)
1re semaine	190 g	110 g
2e semaine	480 g	200 g
3e semaine	730 g	300 g
4e semaine	1 000 g	540 g
5e semaine	1 100 g	650 g
6e semaine	1 300 g	700 g
7e semaine	1 400 g	750 g

• *Reproduction*

Début de ponte : cane commune : 6 mois
race de ponte : 4 mois

Œufs : poids 55 à 80 g.

Pour la reproduction :

— 1 mâle pour 4 femelles en début de ponte
— 1 mâle pour 8 femelles en milieu de ponte.

Réforme des reproducteurs : après la deuxième saison de ponte, car baisse rapide de la fécondité.

Incubation : durée 28 jours pour le canard domestique, 35 jours pour le canard de Barbarie.

— incubation naturelle : la cane est une excellente couveuse.

— incubation artificielle : incubateurs identiques à ceux produisant des poulets.

NOTE SUR L'ÉLEVAGE DES LAPINS

L'élevage des lapins est rattaché traditionnellement à l'aviculture.

En Afrique tropicale, il existe des élevages familiaux dont les animaux proviennent en général de races améliorées d'Europe.

Élevage intéressant à plusieurs titres :

- exige une mise de fonds relativement modique pour un faible effectif au départ,
- demande peu de temps pour conduire l'élevage,
- grande prolificité de l'espèce qui peut compenser les pertes assez élevées chez les jeunes,
- grande aptitude à utiliser une grande variété d'aliments : herbe, racines, déchets de cuisine, déchets de jardin, etc.

Races de lapins

— géant des Flandres : race lourde,
— blanc de Bouscat : race mi-lourde,
— fauve de Bourgogne : race moyenne à croissance très rapide,
— bleu ou blanc de Vendée : race moyenne très prolifique.

Modalités de l'élevage (élevage familial)

• *Logement :*

Clapier, bâtiment de taille moyenne formé d'une série de cases ou loges séparant chaque sujet adulte, en bois, ciment, maçonnerie.

Cases : dimensions pour un reproducteur ou 4 jeunes :

superficie : 1 m² pour les races lourdes
0,8 m² pour les races moyennes
0,6 m² pour les races légères

hauteur : 55 cm au minimum pour que les lapins puissent se redresser.

Le fond des cases est en grillage ; nécessité d'une boîte à nid par lapine : 45 cm long x 30 cm large x 30 cm haut. Boîte fermée par un couvercle mobile. Trou d'entrée carré de 18 cm de côté.

La case est équipée d'un râtelier, d'une aubette pour aliments concentrés et d'un petit abreuvoir en aubette.

• *Alimentation :*

Besoins : les chiffres concernant les besoins alimentaires sont assez variables :

• *Besoins d'entretien*

Poids du lapin (kg)	Normes danoises	Normes américaines (N.R.C.)	Normes françaises (Leroy)
3	0,090 U.F.	—	0,103 U.F.
3,5	0,100 U.F.	—	0,113 U.F.
4	0,110 U.F.	0,135 U.F.	0,124 U.F.
4,5	—	0,150 U.F.	0,135 U.F.

On voit qu'il faut compter environ 0,028 U.F. par kg de poids vif.

• *Besoins de reproduction*

Pas de majoration des normes américaines pour la gestion. Par contre, besoins de lactation élevés en raison de la production importante de lait et de sa forte concentration :

1re et 2e semaines : donner 2 fois la ration d'entretien (normes américaines)
3e et 4e semaines : donner 3,3 fois la ration d'entretien (normes américaines)
5e et 6e semaines : donner 3,7 fois la ration d'entretien (normes américaines).

• *Besoins de croissance et engraissement*

Poids du lapin (kg)	Besoins en U.F. (entretien et croissance)
1	0,06
2	0,1
3	0,13
4	0,16

L'approvisionnement en eau est primordial : une mère nourrissant sa portée consomme jusqu'à 0,4 l d'eau par jour. L'eau doit être d'une propreté et d'une qualité parfaites.

Formules d'aliment complet pour lapin

— Première formule		**— Deuxième formule**	
Mil-graines entières	40 kg	Son de mil	40 kg
Maïs concassé	20 kg	Maïs ou mil concassé	27,5 kg
Son de mil	20 kg	Tourteau d'arachide	11,5 kg
Germes de riz	10 kg	Farine de poisson	5 kg
Farine de viande (ou viande cuite hachée)	3 kg	Farine de viande	7,5 kg
Levure de bière	1 kg	Farine d'os	5 kg
Farine d'os	2 kg	Poudre de coquilles d'huîtres	2,5 kg
Tourteau d'arachide	3 kg	Sel fin	1 g
Mélange minéral	1 kg	Total	100 kg
Total	100 kg		

• *Reproduction*

Chez la lapine, ovulation uniquement en présence du mâle (cycle œstral de 15 à 16 jours, les 2 premiers jours et les 2 derniers sont inféconds).

Maturité sexuelle à 6-7 mois pour les races moyennes
9-10 mois pour les races lourdes

Prévoir un mâle pour 10 à 12 femelles. Transporter la lapine dans la case du mâle pour l'accouplement et non l'inverse.

Gestation : durée 29 à 31 jours. Portées de 8 à 10 lapereaux, n'en laisser que 10 au maximum en cas de portées supérieures en nombre.

Lactation : durée de l'allaitement 8 semaines. Le lapereau se nourrit jusqu'au 21e jour uniquement de lait, consomme un peu d'aliment vers 4 semaines ; le sevrage se fait naturellement vers 7 à 8 semaines.

Engraissement : des lapins de bonne souche, bien alimentés, atteignent 2,5 kg en 12 semaines.

Les mâles ne doivent pas être élevés en groupe sans avoir été castrés au préalable (vers 4 mois) car ils se battent incessamment.

• *Clapiers*

Le lapin d'élevage reste toujours enfermé, l'importance de son habitat est donc primordiale.

— Le clapier est un bâtiment de taille moyenne formé d'une série de cases ou loges séparant chaque sujet adulte.

Surface optimale pour un reproducteur ou 4 jeunes

1 m^2 pour races lourdes (5 kg ou plus)

0,8 m^2 pour races moyennes (3 à 5 kg)

0,6 m^2 pour races légères (moins de 3 kg)

Profondeur maximale : 1 m pour attraper facilement les animaux.

Hauteur minimale : 0,55 m pour que les animaux puissent se dresser dans la case.

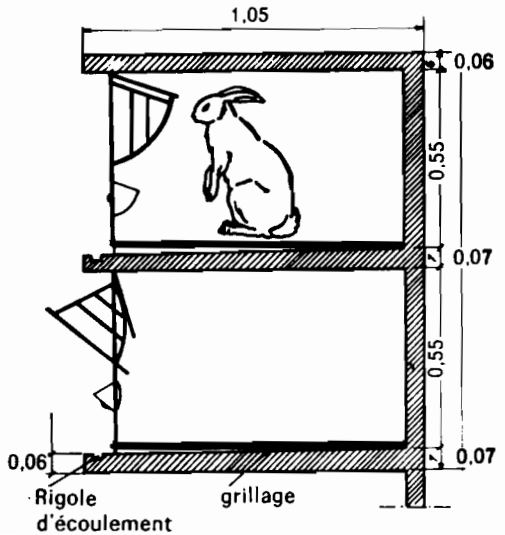
• *Matériel d'élevage*

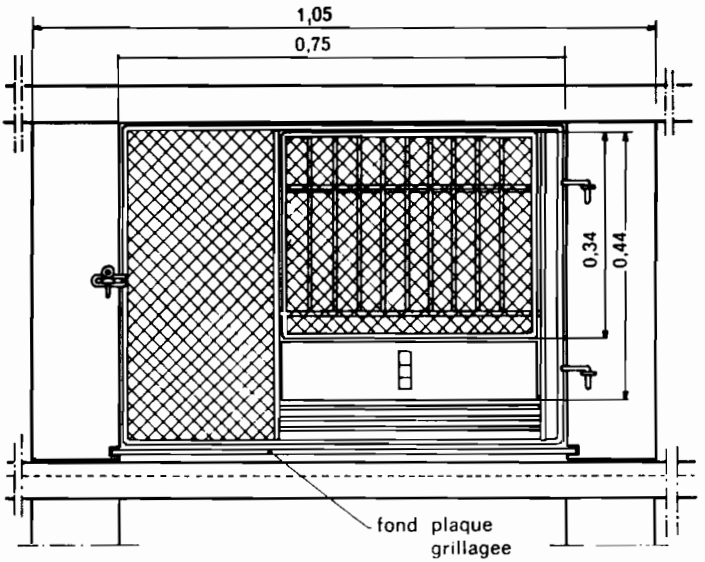
1 boîte à nid : 45 x 30 x 30 cm pour les lapines en gestation.

1 râtelier pour placer le foin hors de contact avec la litière.

1 abreuvoir en aubette ou siphoïde, rigoureusement indispensable : les lapins doivent pouvoir s'abreuver à volonté.

CLAPIER CIMENT DU CENTRE DE SOTUBA – Figure 11





3. PATHOLOGIE AVIAIRE

3.1. Généralités

La maîtrise de la pathologie aviaire est un préalable au développement de toute production intensive. Les maladies aviaires ont en effet des conséquences économiques considérables.

Au-delà des seuils de mortalités suivants, il y aura des répercussions néfastes sur la rentabilité de l'exploitation.

	au sol (%)	en batterie (%)
1er et 2e semaine	2	2
3e à 12e semaine	3	5
1re semaine à la ponte (5 à 6 mois)	4	4
pendant la ponte	1 % par mois	

Étiologie

Du point de vue étiologie, la pathologie aviaire, comme d'ailleurs celle des autres espèces, reconnaît des causes déterminantes : les agents pathogènes, et des causes favorisantes.

Parmi les premiers, on trouve des virus, des mycoplasmes, des bactéries, des champignons, des protozoaires, des parasites, des processus tumoraux, des carences.

Parmi les causes favorisantes, trois groupes de facteurs essentiels interviennent :

1. la réceptivité des oiseaux aux agents pathogènes, conditionnée par ce que l'on nomme le terrain de l'individu,
2. les facteurs de milieu, tels que le climat, l'hygiène de l'habitat ou de l'alimentation,
3. les troubles nutritifs et les perturbations physiologiques diverses.

La transmission des agents pathogènes peut être directe ou indirecte.

Dans la **transmission directe**, l'agent pathogène passe d'un animal à l'autre à la suite d'un contact direct, ce qui est particulièrement dangereux dans le cas des grands effectifs et dans les habitats surpeuplés.

Il n'y a pas que les animaux malades qui sont susceptibles de propager la maladie : certains individus, apparemment bien portants, peuvent être **porteurs de germes**. (D'anciens malades apparemment guéris constituent des porteurs chroniques de germes pathogènes.)

Dans la **transmission indirecte**, l'agent pathogène est transmis par l'intermédiaire d'un objet, d'un aliment, de l'eau de boisson, du sol, du matériel, du logement, ou d'un animal d'une espèce différente (insecte, rat).

Pathologie classique - Pathologie nouvelle

Lorsqu'on étudie les maladies infectieuses (virus, bactéries, mycoplasmes) on s'aperçoit qu'à côté d'une pathologie classique bien connue depuis longtemps dans les pays tropicaux, il est en train de s'installer un ensemble d'affections nouvelles dues à l'importation de plus en plus fréquente de poussins d'un jour à partir d'élevages européens ou américains, dans les régions tropicales où on installe des unités d'élevage intensif.

En ce qui concerne les maladies virales notamment, on peut classer :

— dans la pathologie classique :
- variole aviaire,
- encéphalomyélite infectieuse aviaire,
- maladie de Newcastle (pseudo-peste aviaire),
- bronchite infectieuse ;

— dans la pathologie nouvelle :
- laryngo-trachéite infectieuse,
- leucoses aviaires,
- neurolymphomatose ou maladie de Marek,
- maladie de Gumboro.

Pathologie aiguë - pathologie chronique

De nombreuses maladies peuvent exister à l'état aigu mais aussi à l'état chronique : coccidiose, maladie respiratoire, maladie de Gumboro, etc.

• Les coccidioses suraiguës provoquent de fortes mortalités avec lésions intestinales facilement identifiables. Les dommages sont spectaculaires mais le diagnostic et le traitement sont faciles. Toutefois, cette forme de maladie a pratiquement disparu grâce à l'adjonction d'un anticoccidien dans l'aliment.

• Les coccidioses chroniques. La mortalité reste à un niveau normal, mais les animaux présentent des diarrhées et des baisses de performances. Ce dernier aspect est pas ou peu ressenti par l'éleveur mais a des incidences économiques

importantes. Cette forme chronique peut résulter d'une efficacité non totale de certains anticoccidiens après plusieurs mois ou plusieurs années d'utilisation. Le taux d'infestation est faible, la maladie aiguë n'apparaît pas. Les performances sont affectées.

Difficultés de diagnostic

Il s'agit donc dans tous les cas d'établir un diagnostic de groupe qui sera avant tout basé sur l'observation de l'ensemble de la bande en élevage : évolution de la maladie, nombre d'animaux atteints, signes généraux observables dans le local (bruits d'éternuements, signes de diarrhées sur la litière, position des animaux malades dans le local...).

De même, les autopsies et examens de laboratoires ne pourront donner de résultats exploitables que s'ils sont pratiqués sur un certain nombre d'animaux. Il ne s'agit plus de diagnostic individuel mais d'interprétation statistique d'un ensemble de signes.

Au laboratoire, la simple découverte de certains germes, réputés pathogènes dans certaines conditions, ne constitue pas un diagnostic car, de plus en plus, les maladies se présentent sous forme de syndrome dans lesquels le pouvoir pathogène des microbes ne s'exprime qu'à travers leur association avec d'autres (c'est en particulier le cas des colibacilles dans les affections respiratoires et de l'association salmonelles-coccidioses chroniques dans les diarrhées).

Le recours au laboratoire ne présente en général que peu d'intérêt pour le traitement des maladies déclarées car le résultat arrive souvent trop tard. Mais il est très utile pour ajuster le programme sanitaire lors de la découverte de résistance de certains germes à certains produits ou lors de déclaration de nouvelles maladies dont la prévention ne figurait pas au programme sanitaire.

3.2. La prévention des maladies

Dans tout élevage avicole rationnel, l'acte vétérinaire curatif doit devenir l'exception car c'est en respectant l'adage *Il vaut mieux prévenir que guérir* que l'éleveur moderne diminuera au maximum l'incidence économique due à la pathologie.

Les règles impératives conditionnant la réussite de cette prévention sont les suivantes :

— respecter le principe de la bande unique au niveau de chaque bâtiment ou mieux, pour le poulet de chair, au niveau de l'élevage ;
— désinfecter complètement entre chaque bande en respectant les 3 temps :
  • 1er temps : nettoyage, décapage,
  • 2e temps : désinfection proprement dite,
  • 3e temps : vide sanitaire ;
— vacciner correctement et en temps voulu ;
— déparasiter (coccidiose, ténias, ascaris...) et débecquer les oiseaux en suivant les programmes exposés plus loin.

3.2.1. PROPHYLAXIE SANITAIRE

L'arme essentielle de la prophylaxie sanitaire est la **désinfection** qui com-

porte l'ensemble des opérations visant à détruire les micro-organismes présents dans le milieu extérieur.

Elle a pour but de protéger les animaux domestiques contre deux types d'agressions microbiennes :

— les maladies infectieuses spécifiques,

— le microbisme d'élevage non spécifique ; dans tout bâtiment d'élevage, il se dépose 10 germes par cm^2 et par minute :

• 1 g de poussière contient 200 000 à 800 000 colibacilles vivants ;

• 1 g de litière contient en moyenne 8 milliards de microbes vivants.

La résistance de ces microbes est grande. Par exemple, dans un bâtiment non nettoyé, en l'absence d'animaux, le délai maximal de survie est :

Salmonella pullrorum	11 semaines
Virus de la maladie de Newcastle	26 semaines
Escherichia coli	32 semaines
Salmonella typhi-murium	39 semaines

A. **Hygiène de l'élevage des poulets de chair et des poulettes**

Préparation du bâtiment

Voir tableaux 7 et 8.

Hygiène des animaux

— nettoyer quotidiennement les abreuvoirs et les désinfecter une fois par semaine :

— renouveler périodiquement la solution de désinfectant des pédiluves ;

— disposer en permanence des appâts de raticide autour du poulailler et dans le magasin d'aliment.

B. **Hygiène de l'élevage des pondeuses**

Préparation du bâtiment

Voir tableaux 7 et 8.

Hygiène des animaux

— nettoyer chaque jour les abreuvoirs et les désinfecter une fois par semaine ;

— en cas de parasitisme externe (poux, poux rouges...) pulvériser sur les pondeuses de l'insecticide liquide non toxique pour les volailles ;

— effectuer périodiquement des examens coprologiques et distribuer si nécessaire de l'aliment vermifugé (ou par l'eau de boisson) pendant 2 jours, renouveler 3 semaines plus tard ;

— disposer en permanence des appâts de raticide autour du poulailler et dans le magasin d'aliment.

C. **Hygiène du couvoir**

L'hygiène du couvoir repose sur un certain nombre de mesures qui peuvent être groupées dans les rubriques suivantes :

— hygiène des locaux et du matériel ;

— hygiène du personnel ;
— hygiène des œufs.

Hygiène des locaux et du matériel

Le couvoir est généralement conçu de manière à permettre un circuit logique de progression des œufs à couver et du poussin, et à éviter tout recoupement ou retour en arrière. Les différentes salles doivent faire l'objet d'un nettoyage suivi d'une désinfection dont la fréquence varie avec la cadence de production des poussins.

La salle de réception des œufs et la salle des incubateurs doivent être désinfectées au moins une fois par semaine ; la salle des éclosions et la salle de conditionnement des poussins après chaque éclosion. Les appareils seront désinfectés chaque fois qu'ils seront vides, s'il s'agit d'appareils remplis en permanence, ils seront désinfectés après chaque chargement. Le matériel (chariots, plateaux, etc.) sera désinfecté après chaque utilisation. Il en sera de même des véhicules de transport des oeufs et de livraison des poussins.

Hygiène du personnel

Lorsque la taille du couvoir le permet, il est souhaitable qu'il y ait une séparation totale des équipes de travail : employés donnant les soins aux animaux d'une part, et employés du couvoir d'autre part. Les accès au couvoir seront protégés comme les bâtiments d'élevage par des pédiluves et le personnel du couvoir revêtira blouse ou combinaison et coiffure et se désinfectera les mains avant chaque séquence de travail.

Le personnel ayant terminé son travail à l'éclosion doit changer de vêtements de travail et se désinfecter les mains avant de pénétrer dans les parties en amont (stockage des œufs, incubation).

Hygiène des œufs

Tout doit être mis en oeuvre depuis les pondoirs jusqu'aux chargements des plateaux d'incubateurs pour préserver la qualité des œufs et pour éviter des contaminations microbiennes. Avant mise en incubateurs, les œufs seront désinfectés soit par fumigation, soit par trempage.

3.2.2. PROPHYLAXIE MÉDICALE

La lutte préventive contre les agressions parasitaires ou infectieuses recourt à deux méthodes qui se complètent : la vaccination et la chimioprévention. Ces interventions sont effectuées systématiquement à des périodes déterminées de la vie de l'animal.

Maladies bactériennes : on effectue préventivement des traitements antibiotiques dans toutes les circonstances qui peuvent affaiblir la résistance de l'animal (voyages, manipulations des animaux, suites de vaccinations, changement de locaux ou réalottements).

On utilise dans ce cas des antibiotiques à très large spectre pendant au moins quatre jours de suite, soit dans l'eau de boisson, soit dans l'aliment.

On parle parfois d'aliments antistress pour désigner des aliments contenant des antibiotiques à dose thérapeutique et des suppléments de vitamines.

Maladies parasitaires : les traitements préventifs systématiques par l'aliment ou l'eau de boisson ont essentiellement pour but de prévenir l'apparition de coccidies, de ténias et d'ascaris qui sont les trois types de parasites les plus couramment rencontrés en Afrique.

La prévention de la coccidiose des volailles en croissance peut être obtenue par deux méthodes :

— la supplémentation permanente de l'aliment en coccidiostat,
— les traitements anticoccidiens répétés toutes les trois semaines.

Cette technique de prévention doit être préférée, en milieu tropical, à une simple supplémentation permanente de l'aliment en coccidiostat, pour éviter la formation trop rapide de souches résistantes, et permettre chez l'animal le développement d'une certaine immunité.

Maladies virales : le seul mode de lutte contre ce type de maladies est la prévention réalisée au moyen de vaccins.

Les vaccinations peuvent être réalisées par quatre voies différentes :

— **eau de boisson :** c'est la méthode la plus facile mais aussi la moins fiable car on ne sait jamais quelle dose exacte ont reçue les oiseaux ;
— **goutte dans l'œil (et les narines)** : c'est une méthode présentant une bonne efficacité. Son seul inconvénient réside dans l'obligation de manipuler les oiseaux ;
— **nébulisation :** cette méthode est assez difficile à utiliser car la taille des gouttelettes doit être choisie de façon rigoureuse en fonction du type de vaccin. Une nébulisation en gouttelettes trop fines risque de provoquer des réactions secondaires très vives, une nébulisation en gouttelettes trop grosses sera inefficace ;
— **injection :** cette méthode est incontestablement la plus fiable et techniquement la plus satisfaisante. Sa généralisation est malheureusement rendue difficile par les problèmes de main-d'œuvre qu'elle pose.

Quel que soit le mode de vaccination choisi, les conditions indispensables pour une bonne vaccination sont les suivantes :

— **ne pas détruire l'activité du vaccin :**
  - le transporter dans des boîtes isothermes avec de la glace ou un conservateur de froid ;
  - le conserver au réfrigérateur à + 4° C (beaucoup de vaccins sont détruits par la congélation à - 20° C) ;
  - éviter tout contact avec la lumière, les antiseptiques, les détergents ou les médicaments.
— **préparer le vaccin avec précaution en le diluant dans l'eau pure :**
  - ne jamais employer de l'eau de la ville contenant des antiseptiques, mais toujours utiliser de l'eau pure (eau de source, eau de pluie ou eau minérale).
— **distribuer correctement les vaccins buvables :**
  - vider et nettoyer les abreuvoirs en ayant soin de les rincer abondamment afin qu'ils ne renferment aucun trace d'antiseptiques, de détergents ou de médicaments ;
  - assoiffer les animaux en supprimant l'abreuvement pendant la nuit qui précède la vaccination ;

- vacciner le matin de bonne heure en même temps que la distribution d'aliments ;
- verser le vaccin dilué dans une quantité d'eau nécessaire pour deux heures d'abreuvement, directement dans les abreuvoirs et ne pas réintroduire d'eau dans les abreuvoirs avant absorption complète du vaccin (pour 100 volailles : 1/4 de litre d'eau dans les premiers jours, 1/2 litre vers 3 semaines, 2 litres vers 12 semaines et 2,5 litres à 4 mois) ;
- s'assurer que tous les oiseaux peuvent aisément s'abreuver (nombre suffisant d'abreuvoirs bien répartis dans l'élevage) ;

— toujours avoir à l'esprit que la vaccination sera réellement efficace si les oiseaux sont en excellent état de santé ;

— la vaccination doit toujours être considérée comme un acte délicat. Pour tout changement de programme, l'éleveur devra consulter son vétérinaire spécialiste des élevages avicoles.

3.2.3. PROGRAMME SANITAIRE

La prévention des maladies des volailles est obtenue par la mise en œuvre d'un programme sanitaire intégrant les méthodes de la prophylaxie sanitaire et médicale, adapté aux conditions locales, pathologiques, climatiques et alimentaires ainsi qu'aux souches de volailles utilisées.

Il constitue la liste chronologique détaillée de ce que l'éleveur doit effectuer dans ce domaine.

Il est établi d'après les renseignements fournis par le couvoir qui livre les poussins, les techniciens de l'élevage et les vétérinaires qui connaissent bien les conditions locales de l'élevage.

A titre indicatif, les programmes de vaccination suivants ont été utilisés pendant plusieurs années avec succès sur tout le territoire du Sénégal.

Programme sanitaire des poulets de chair

Âge	Vaccinations		Autres opérations
	Vaccin	Méthodes	
Avant l'arrivée des poussins			Lavage + désinfection des locaux d'élevage. Vide sanitaire de 15 jours.
1er jour	HITCHNER B1 + GUMBORO (en mélange)	Goutte dans l'œil (ou trempage du bec ou nébulisation)	Aliment poussin prédémarrage pendant toute la première semaine.
18e jour	HITCHNER B1 + GUMBORO (en mélange)	Eau de boisson (ou goutte dans l'œil)	Anticoccidien éventuel. Antiparasitaire éventuel.
42e jour	LA SOTA	Eau de boisson	Anticoccidien éventuel. Antiparasitaire éventuel.

Programme sanitaire des futures pondeuses

Âge	Vaccinations		Autres opérations
	Vaccin	Méthodes	
Avant l'arrivée des poussins	MAREK (au couvoir)	Intramusculaire	Lavage + désinfection des locaux d'élevage. Vide sanitaire pendant 15 jours.
1er jour	HITCHNER B1 + GUMBORO (en mélange)	Goutte dans l'œil (ou trempage ou nébulisation)	Aliment poussin pré-démarrage pendant toute la première semaine.
18e jour	HITCHNER B1 + GUMBORO (en mélange)	Eau de boisson (ou goutte dans l'oeil)	Débecquage.
6e semaine	LA SOTA	Eau de boisson	Anticoccidien éventuel.
10e semaine			Vermifuge (ascaris + ténia).
11e semaine			
12e semaine	LA SOTA	Eau de boisson	Anticoccidien éventuel.
13e semaine			Vermifuge (rappel).
14e semaine	VARIOLE	Méthode Wing Web	
18e semaine	LA SOTA ou vaccin Newcastle injectable	Eau de boisson. Injection intramusculaire.	Débecquage.

N.B. : Si présence dans le pays, vaccination indispensable contre la bronchite infectieuse :
— 4e semaine : H120 ou 82 828 ;
— 11e semaine : H52 ;
— entrée en ponte : H120.

Programme sanitaire des poules pondeuses

VACCINATIONS

2 SOLUTIONS

Si les poulettes ont été vaccinées à 18 semaines avec LA SOTA dans l'eau de boisson

↓

Refaire un LA SOTA dans l'eau de boisson TOUS LES TROIS MOIS

Si les poulettes ont été vaccinées à 18 semaines avec un vaccin NEWCASTLE INJECTABLE

↓

PROTECTION PENDANT 10 MOIS. Si la ponte se maintient au-delà, refaire un LA SOTA dans l'eau de boisson.

AUTRES OPÉRATIONS

VERMIFUGATION contre *TAENIAS* et *ASCARIS* une fois tous les DEUX MOIS

(2 traitements à 3 semaines d'intervalle).

DEPARASITAGE EXTERNE s'il y a présence de poux.

Principales affections microbiennes

Nom	Causes	Principaux symptômes	Lésions	Traitement	Prophylaxie
Bronchite infectieuse (galliformes)	Ultra-virus spécifique	— Poussins : forte mortalité et troubles respiratoires — Adultes : arrêt de ponte	— Bronches — Sacs aériens — Ovaires	néant	— Abattage des lots infectés — Désinfection des locaux — Vaccination des poussins
Encéphalomyélite aviaire (poulets)	Virus spécifique transmis souvent par les œufs	— Tremblements tête et cou — Paralysies — Forte mortalité	— Congestions cérébrales et méningées	néant	— Elevage des jeunes à l'écart des adultes — Vaccin tué dans les élevages indemnes
Maladie respiratoire chronique	Mycoplasme (P.P.L.O.)	— Signes respiratoires : râles-étouffements	— Exsudat caséeux dans les sacs aériens	Antibiotiques : — Spiramycine 0,5 g/l, eau boisson ou solution à 5 % : 5 ml/kg vif — Streptomycine — Tylosine	— Abattage des malades et des contaminés — Désinfection des locaux — Séro-agglutination et traitement antibiotique des nouveaux sujets
Maladie de Newcastle (poulets)	Virus	— Extrême contagiosité — Pneumoencéphalite — Symptômes respiratoires — Myoclonies, paralysies — Diarrhée profuse verdâtre	— Signes de septicémie — Suffusions sanguines — Viscères congestionnées — Pétéchies du cloaque et du ventricule succenturiée	néant	— Abattage des malades et des contaminés — Destruction des cadavres — Désinfection des locaux — Quarantaine des sujets importés — Vaccination de tous les sujets
Pasteurellose (choléra) (poulets, canards)	Bactérie spécifique *Pasteurella*	— Mortalité importante, mort foudroyante — Torpeur — Cyanose de la crête — Diarrhée	— Septicémie — Pétéchies séreuses et muqueuses — Congestion sur viscères	Antibiotiques : — Streptomycine — Terramycine : 15 mg/kg poids vif en I.M. ou 25 mg/kg poids vif voie buccale	— Abattage des malades et des contaminés — Destruction des cadavres — Sulfamérazine : 0,05 % de la ration — Sulfaquinoxaline : 0,05 % dans eau de boisson — Chlortétracycline : 500 g/t d'aliment — Vaccination assez controversée

Suite Affections microbiennes

Nom	Causes	Principaux symptômes	Lésions	Traitement	Prophylaxie
Typhose Pullorose (poulets, pigeons, pintades, dindons)	Bactérie spécifique *Salmonella*	— Adultes (typhose) — Septicémie : forte mortalité — Diarrhée — Poussins (pullorose) — Abattement — Diarrhée blanchâtre plâtreuse	— Lésions hépatiques : hypertrophie taches blanchâtres en surface — Ovaires : congestion	— Furazolidone : 0,04 % dans pâtée pendant 10 jours — Chloramphénicol	— Mesures sanitaires — Séro-agglutination avec élimination des positifs — Désinfection des locaux — Vaccination
Tuberculose (tous les oiseaux)	Bacille spécifique *Mycobacterium*	— Arrêt de ponte — Boiteries — Cachexie intense — Mortalité	— Ascite — Tubercules de la grosseur d'un grain de mil à un pois sur foie, rate, intestin	néant	— Elimination des malades et des contaminés — Destruction des cadavres — Tuberculinisation, élimination des positifs
Variole (diphtérie)	Virus	— Forme cutanée : éruption pustuleue crête, barbillons, paupières — Forme muqueuse : fausses membranes bouche, narines, pharynx. Mortalité		— Antiseptiques locaux. Vitamines A, D.	— Vaccination systématique
Maladie de Gumboro	Virus	— Poussins de 3 semaines à 1 mois — Accroupis, endormis, plumes hérissées, bec dans la litière — Légère diarrhée blanchâtre — 15 à 30 p. 100 de mortalité	— Hémorragies intramusculaires — Hémorragies sur la muqueuse du proventricule — Hypertrophie de la bourse de Fabricus	néant — Lutte contre les surinfections par antibiotiques sulfamides et Furazolidone.	— Vaccination des poussins à 18 jours

Principales affections parasitaires

Nom	Causes	Principaux symptômes	Lésions	Traitement	Prophylaxie
Ascaridiose	Ascaris, vers ronds 3 à 7 cm	— Mauvais état général — Diarrhée — Pseudo-paralysies	Présence des vers ronds de 3,5 à 7,5 cm dans l'intestin grêle	— Didakol à 25 % : 0,5 à 1 ml per os, 2 fois à 3 semaines — Adipate de pipérazine 2 à 3 % dans eau de boisson pendant 3 jours — Tétramisole 50 mg par tête dans eau de boisson	— Abandon du parcours contaminé — Désinfection des poulaillers : Pentachlorophénate de sodium
Capillariose	Capillaria, vers ronds 10 à 50 mm	— Abattements. Inappétence. — Diarrhée plus ou moins hémorragique	Vers parasites dans œsophage, jabot, intestin et cæcums	— Didakol (idem ascaridiose) — Adipate de pipérazine : 0,5 g/kg poids vif 2 fois à 1 semaine — Tétramisole	— Isolement des sujets infestés — Sulfate ferreux sur les parcours
Coccidiose	Multiplicaton dans intestin de protozoaires du genre *Eimeria*	— Diarrhée aqueuse et hémorragique — Mortalité importante chez les jeunes de 10 j à 3 mois	Lésions d'entérite hémorragique	— Sulfadimérazine 2 g/l d'eau de boisson ou — Sulfaquinoxaline : 0,25 g/l d'eau de boisson, 2 fois 3 jours à 2 jours d'intervalle	— Désinfection des locaux — Séparation des jeunes et des adultes — Coccidiostatiques : Amprolium : 0,012 % dans la pâtée jusqu'à 12 semaines
Kétérakiose (poulets, dindons, canards, oies)	Multiplication dans les cæcums de vers ronds de 7 à 12 mm	Peu marqués non significatifs — Diarrhée — Amaigrissement	Au niveau des cæcums, hypertrophie	— Phénothiazine : 0,5 g/kg poids vif 4 jours de suite — Tétramisole	— Phénothiazine de façon continue : 0,5 %, pâtée...

Suite Affections parasitaires

Nom	Causes	Principaux symptômes	Lésions	Traitement	Prophylaxie
Histomonose (poulets, dindons)	Protozoaires microscopiques	Diarrhée profuse jaune soufre	Lésions du foie en cocarde, taches rouge sombre ou nodules de nécrose gris-jaune	— Diphtétarsone : 0,05 g/kg poids vif dans eau de boisson pendant 10 jours	— Aminonitrothiazol : 0,1 % dans pâtée jusqu'à 3 mois
Spirochétose (poulets, canards, oies)	Spirochètes inoculés par piqûres d'Argas	Evolution aiguë — Ictère — Diarrhée, paralysie — Prostration profonde	Ictère du tissu conjonctif. Hypertrophie du foie	— Pénicilline I.M. 10 000 U.I./kg poids vif — Oxytétracycline : 2,5 mg/kg poids vif	— Désinsectisation des locaux — Stovarsol par voie buccale : 1 cg/kg poids vif
Syngamose	Syngames, vers ronds « fourchus » dans la trachée	— Dyspnée — Baillements — Quintes de toux sifflantes — Mort par étouffement	Trachée	— Instillation dans la trachée solution iodo iodurée faible 0,5 cc — Thiabendazole 1 g/kg d'aliment	— Abandon et stérilisation des parcours Sulfate de fer-HCH pentochlorophénate de sodium
Taeniasis	Présence de vers plats dans l'intestin grêle	— Baisse de l'appétit — Perte de poids — Diarrhée — Diminution de la ponte — Mortalité		— Arséniate d'étain 200 mg/tête en capsules — Dibutyldimalate d'étain 500 mg/kg d'aliment pendant 2 jours — Diacétate de plomb dibutyle (DDP) 100 mg par tête	Destruction des hôtes intermédiaires : limaces, escargots, insectes

CHAPITRE XX

APICULTURE

ASPECTS DE L'APICULTURE EN AFRIQUE

1. NOTIONS GÉNÉRALES SUR L'APICULTURE

L'apiculture africaine est essentiellement une activité d'appoint concernant surtout les hommes et s'insérant parfaitement bien dans la campagne annuelle des travaux agricoles. Elle se pratique en saison sèche.

En Afrique, coexistent la simple cueillette du miel et une apiculture aux techniques traditionnelles, parfois modernes.

1.1. La cueillette du miel

La pratique apicole la plus répandue consiste à repérer les colonies d'abeilles installées dans les creux des troncs d'arbres, dans les anfractuosités de roches ou même dans les cavités du sol. Ce repérage s'effectue souvent lors de l'exercice de la chasse en brousse.

La récolte se fera à l'occasion d'un besoin particulier (fêtes ou maladies). Elle se fait la nuit en enfumant les abeilles et en retirant tous les rayons (miel et couvain). Selon la taille de la colonie (localisation de la ruche, époque de récolte), elle peut varier de quelques grammes à 7-8 kg.

1.2. L'apiculture traditionnelle

1.2.1. TYPES DE RUCHES

De l'aménagement de la cavité d'un affleurement rocheux, en passant par la ruche en banco ou en paille, jusqu'à la ruche en sapin du Canada ou en pin des Landes, tous les types de ruches sont représentés en Afrique.

En fait, chaque région, en fonction de ses spécificités apicoles et surtout des matériaux les moins onéreux et les plus courants, offre son type de ruche : dans des troncs d'arbres évidés, des calebasses, des jarres, en bambou, écorce ou raphia.

Plus que les matériaux, la forme des ruches revêt une importance capitale pour leur exploitation. Elle différenciera le cueilleur de miel de l'apiculteur.

La plupart des ruches en matériaux ligneux ou herbacés sont coniques ou cylindriques (exceptionnellement pyramidales). La conicité des ruches définit

une apiculture fixiste où lors de la récolte, la destruction partielle voire totale de la colonie est inévitable.

En effet, l'unique entrée de la ruche ne permet d'accéder aux réserves de miel qu'en ayant auparavant retiré tous les rayons de couvain. (Voir procédés de récolte).

Les ruches cylindriques caractérisent généralement une apiculture plus avancée où l'observation et le respect de l'abeille occupent une place plus importante dans les mentalités rurales.

Deux entrées opposées favorisent un accès plus facile pour l'apiculteur qui assurera une à deux fois par an une récolte de miel raisonnée.

1.2.2. TYPE DE RÉCOLTE

La forme et la conduite des ruches traditionnelles influent sur l'espacement et le volume des récoltes :

— les ruches coniques à entrée unique n'autorisent qu'une seule récolte tous les 12 à 18 mois. La ruche est descendue au sol. Aprés qu'elle ait été brûlée et éventrée, tous les rayons de miel et de couvain sont retirés (le miel peut prendre dans ce cas-là un goût de fumée ou de caramel) ;

— les ruches à double entrée permettent de vérifier une à deux fois par an les réserves de miel et de récolter s'il y a lieu.

L'opération de récolte s'effectue dans l'arbre.

L'apiculteur souffle de la fumée, chasse donc les abeilles à l'autre extrémité, et retire un à un les rayons de miel qu'il dispose dans un panier qu'il descend à l'aide d'une corde.

Dans les deux cas, la récolte a lieu la nuit, sans tenue de protection.

1.2.3. EXTRACTION DU MIEL

L'extraction du miel est réalisée par pressage manuel ou par chauffage. Il est ensuite filtré ou simplement écumé si l'apiculteur ne possède pas de tamis.

L'apiculteur rajoute parfois un peu d'eau afin d'augmenter son volume de vente.

Pour être sûr de la qualité de son miel, le consommateur préfère acheter les rayons non extraits.

1.2.4. FONTE DE LA CIRE

La cire africaine (surtout la cire dite Congo, que l'on trouve dans toute l'Afrique centrale) est très prisée sur le marché mondial. Sans le savoir beaucoup d'apiculteurs européens introduisent dans leurs ruches des cires gaufrées qui contiennent une proportion de cire africaine. Cette cire très odorante est rapidement acceptée par les colonies d'abeilles.

Pour fondre la cire, les rayons d'abord pressés, sont mis dans un récipient à moitié plein d'eau portée à ébullition. Le mélange est brassé, ainsi la cire remonte à la surface. En la laissant refroidir, elle se solidifie sous la forme d'un bloc dont on gratte la base pour enlever les impuretés.

Dans les pays gros producteurs et exportateurs de cire (Guinée Bissau — République Centrafricaine), les apiculteurs filtrent le mélange de cire et d'eau afin d'obtenir des pains de cire plus purs.

1.3. Utilisations des produits de la ruche

En apiculture traditionnelle, les résultats sont très variables étant donné le caractère empirique de l'activité.

1.3.1. LE MIEL

La production de miel est fonction de l'âge de la reine, des prédateurs de la flore mellifère, du temps, de la période de récolte...

En moyenne, une ruche traditionnelle produit 7 à 10 kg par an.

L'apiculteur autoconsomme de 20 à 30 % de la récolte dans sa famille et utilise le reste à diverses occasions. Ainsi il n'est pas courant de trouver du miel sur les marchés africains où il est d'ailleurs très cher (10 à 30 F/litre).

1.3.2. LA CIRE

Localement, la cire est utilisée dans l'artisanat pour la fabrication de bougies, d'objets en bronze (techniques de moulages), le colmatage de fissures en ferblanterie, la confection des batiks.

Toutefois, la plus grande partie de cire collectée au village est acheminée vers les grands ports africains en vue de l'exportation.

En effet, plusieurs pays africains bénéficient de la mise en place d'un réseau de collecte et de commercialisation de la cire (Sénégal — Guinée Bissau — République Centrafricaine).

Ce produit apicole, ou plutôt dérivé de la ruche, représente un intérêt réel pour l'apiculteur car il est directement monnayable et ne présente aucune contrainte de conservation.

Les rendements sont liés à la production de miel : par 10 kg de miel extrait, on compte 400 à 500 grammes de cire. (Prix très variable, compris entre 6 F et 12 F le kilo).

1.3.3. CIRCUITS DE COMMERCIALISATION

Le miel

Traditionnellement, le miel est vendu à l'état brut, en rayons naturels ou bien pressé et conditionné dans des bouteilles de récupération en verre. Il peut être vendu sous forme d'hydromel ou incorporé à des pâtisseries.

Très rare en dehors des périodes de récolte, sa vente se fait le long des routes ou sur les marchés. Peu d'apiculteurs maîtrisent la conservation du miel et bénéficient des meilleurs prix de la morte saison.

La cire

Deux circuits s'offrent aux apiculteurs :

— le premier est représenté par les bijoutiers utilisant le procédé de la cire fondue pour la fabrication des bijoux en bronze ;
— le second est constitué par quelques commerçants spécialisés.

1.4. Cycles de développement des colonies d'abeilles

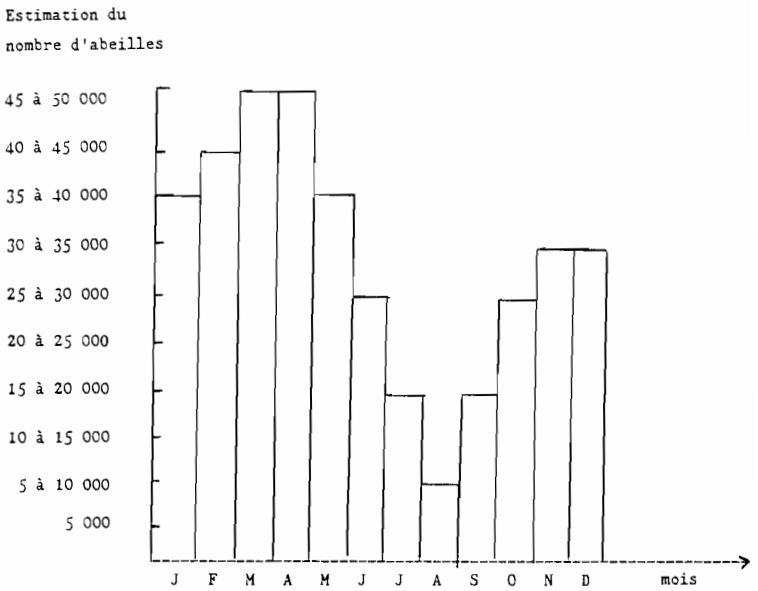
1.4.1. CLIMATS SAHÉLIEN ET SOUDANIEN

- **Localisation des colonies d'abeilles**

Essentiellement, en zone de bas-fonds humides sous climat sahélien et toutes zones dans les savanes arbustives ou arborées sous climat soudanien (anfractuosités de rochers, creux de troncs d'arbres, cavités dans le sol).

Tableau décrivant l'évolution d'une colonie d'abeilles
en Zone Sahelo/Soudanienne à Say (Sud Niger)

(Ruche traditionnelle en paille, population maximale 50 000 abeilles).



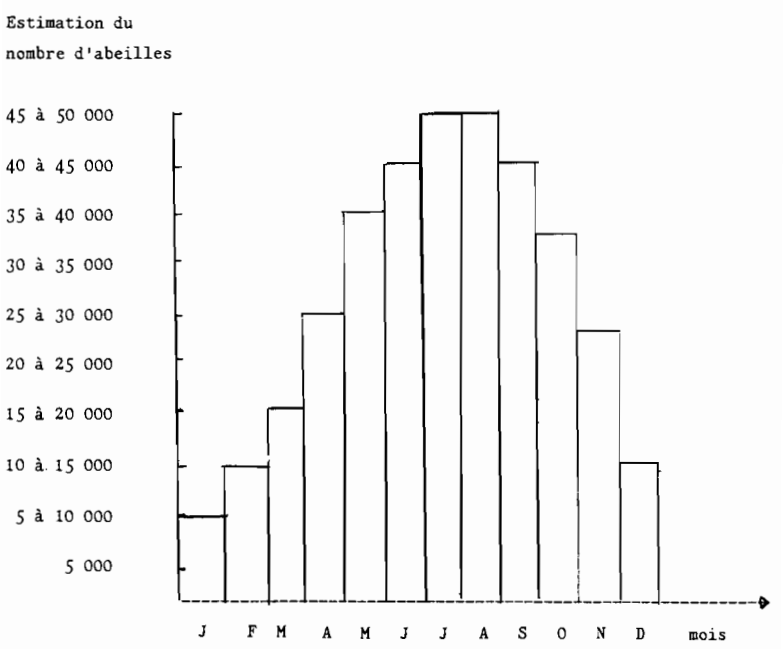
L'essaimage a lieu entre janvier et avril.
La récolte du miel s'effectue en mars ou avril. Il peut y avoir une petite récolte en décembre.

1.4.2. CLIMAT TROPICAL HUMIDE

- **Localisation des colonies d'abeilles**

En bordure des forêts galeries, des clairières, des coupes, des plantations, le long des cours d'eau, essentiellement dans les creux des troncs d'arbres.

Tableau décrivant l'évolution d'une colonie d'abeilles au Burundi (Mbuye).
(Ruche traditionnelle en écorce de bananier population maximale : 50 000 abeilles).



L'essaimage a lieu entre mai et juillet
La récolte du miel s'effectue en août, septembre et octobre.

1.5. L'abeille africaine

1.5.1. CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

C'est la race d'abeille *Apis mellifica Adansonii* qui couvre la plus grande partie du continent africain (exceptées l'Afrique du Nord et la région du Cap en Afrique du Sud).

Cette abeille peut présenter de sensibles variations permettant de distinguer plusieurs sous-races. Le milieu peut influer sur certains caractères morphologiques, physiologiques ou sur le comportement.

Apis mellifica Adansonii est une abeille de petite taille comparativement aux races d'abeilles européennes (*Apis mellifica Mellifica* par exemple).

Les cellules de cire construites par décimètre carré sont plus nombreuses et plus étroites (1 000 cellules chez *Adansonii*, 750 chez *Mellifica Mellifica*).

Elle fait partie des races de couleur jaune, sa pilosité est très courte et sa langue de dimension plus réduite.

1.5.2. COMPORTEMENT D'*APIS ADANSONII*

Essaimage

L'essaimage ou action de reproduction de l'espèce se traduit par une séparation naturelle de la colonie en deux parties.

La première partie ou essaim est constituée par la vieille reine qui quitte la ruche avec un groupe d'abeilles à la conquête d'un nouvel abri préalablement identifié (essaims représentant 5 000 à 30 000 abeilles en fonction de l'importance de la colonie souche).

La deuxième partie reste dans la ruche. Des alvéoles royaux qui ont été façonnés, naît la nouvelle reine. Après avoir éliminé ses rivales et suite à sa fécondation avec un ou plusieurs mâles (faux bourdons), elle assurera la pérennité de la colonie initiale en pondant chaque jour plusieurs centaines d'œufs (jusqu'à 2 500-3 000 œufs/jour).

L'essaimage chez *Apis mellifica Adansonii* est systématiquement annuel. De plus, il est fréquemment répétitif. Contrairement aux races européennes, et en particulier à *Apis mellifica Mellifica* qui n'essaime qu'une fois tous les 2 ou 3 ans, *Apis mellifica Adansonii* a la particularité de pouvoir essaimer une, deux, voire trois fois dans l'année. Ces essaims sont en général de taille très moyenne et peuvent parcourir de longues distances (2 à 15 km).

Désertion

Chez *Apis mellifica Adansonii*, il faut différencier essaimage et désertion. L'action de désertion touche l'ensemble de la colonie qui délaisse son habitat suite à des feux de brousse, aux pillages par les prédateurs (l'homme étant le plus commun...), à des périodes de sécheresse ou de disette prolongées, à des problèmes de thermo-régulation de la ruche, etc.

Ces faux essaims sont parfois orphelins. Si tel est le cas, ils ne représentent aucun intérêt pour l'apiculteur.

Période des essaimages et désertions

Les essaimages ont lieu lors des périodes de développement intense des colonies lorsque les gîtes se font étroits.

En Afrique de l'Ouest et Afrique centrale, la capture d'essaims s'effectue entre février et avril. En Afrique de l'Est, elle intervient entre avril et juin.

Les désertions sont liées aux périodes de récoltes du miel et pendant la saison sèche (feux de brousse).

1.5.3. MALADIES ET PRÉDATEURS

Maladies

Le continent africain a la chance d'être épargné par les épizooties les plus graves répandues dans le monde (en particulier en Europe).

Seule, l'Afrique du Nord est atteinte par les deux plus sérieuses : Loque américaine et Varroase.

Le tableau ci-après récapitule les 5 maladies classées contagieuses qui peuvent apparaître sporadiquement.

MALADIES	LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE	CAUSE	DIAGNOSTIC	LUTTE
Maladies du Couvain Loque Américaine	Afrique du Nord	Bactérie : Bacillus Larvae (tube digestif)	— cadavres de larves — pourrissement du couvain — odeur forte et caractéristique — larves gluantes et filantes — opercules concaves	• **Ruches très fortement infestées** : — Asphyxie des colonies et destruction par le feu • **Ruches légèrement infestées** : — 1 litre de sirop eau + sucre à 50 % + 0,5 g de Sulfathiazol (Renouveler l'opération 4 fois/ans) ou — 3 litres de sirop + 1 g d'oxytétracycline distribués en 3 fois (8 jours d'intervalle)
Loque Européenne	Afrique du Nord Afrique Australe Madagascar	Bactéries : Bacillus Pluton Bacillus Eurydice Bacillus Alvéi (tube digestif)	— couvain disséminé — larves affaissées — odeur aigre larves non filantes contrairement à la Loque Américaine)	3 traitements possibles (antibiotiques) — streptomycine (didromycine) 1 g de didromycine dans 2 l de sirop — terramycine (oxytétracycline) 1 g dans 5 l de sirop (1 l/5 jours) — sanclomycine (chlorhydrate de tétracycline (idem terramycine)

(suite)

MALADIES	LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE	CAUSE	DIAGNOSTIC	LUTTE
Maladies des adultes Nosémose	Afrique du Nord Afrique Centrale Afrique du Sud	protozoaire : Noséma Apis (intestin moyen)	— agitation, puis convulsions des abeilles — diarrhées — dépeuplement des colonies (Confirmation impérative par un examen microscopique des spores)	Traitement au bicyclo-hexylammonium ou Fumédil B (antibiotique) 100 mg de Fumédil B dans 1 litre de sirop (4 prises à 1 semaine d'intervalle)
Acariose	Afrique du Nord Afrique Australe Afrique Centrale	Acarien : Acarapis Woodi (tubes respiratoires)	— paquets d'abeilles devant les ruches — ailes battantes asymétriquement écartées	— Fumigations d'acaricides (Folbex VA ou Amitraz)
Varroase	Afrique du Nord	Acarien : *Varroa Jacobsoni*	— Mort des nymphes — Naissance d'abeilles mal formées — Affaiblissement progressif de la colonie	Traitement par fumigation ou évaporation (3 administrations/8 jours d'intervalle) — fluvalinate — Amitraz

Prédateurs

Bien plus que les problèmes sanitaires, la prédation en Afrique peut prendre des proportions catastrophiques pour le cheptel de l'apiculteur (voir tableau ci-dessous) :

PRÉDATEURS	FORME DE PRÉDATIONS	MOYENS DE LUTTE
• Mammifères : — Ratel (petit carnivore de 60 cm, dos blanc et argenté, ventre noir)	Ruches détruites, ensemble des rayons pillés	Piégeage ou clôture du rucher
• Oiseaux : — Indicator *Indicator*	Consommation d'abeilles	Les dégats enregistrés sont trop faibles pour envisager un moyen de lutte appropriée
• Lézards. Crapauds	Consommation d'abeilles	Surélévation des ruches (50 à 60 cm)
• Fourmis. Magnans	Consommation du miel ou des larves	Isolement des ruches par rapport au sol (suspension ou mise en place de supports englués ou badigeonnés d'huile de vidange)
• Coléoptères : — *Ptinus Fur et Dermestes Lardarius* — *Meloe variegatus*	Déteriorent la cire atrophie les abeilles	Réduction de l'entrée des ruches
• Papillons : — Sphinx tête de mort — Fausse Teigne *(Galeria Mellonella)*	Consommation du miel Consommation de cire Vieille cire de préférence)	Réduction de l'entrée des ruches Surveillance de la colonie Maintien d'un bon niveau de population

Réflexions sur la surveillance d'un rucher

Si on ne tient pas compte des aléas climatiques ou du stress provoqué par les visites de l'apiculteur, on peut dire que 90 % des désertions des ruches sont liées aux attaques des fourmis — magnans en particulier — et de la fausse teigne.

L'utilisation de ruches à cadres ou à baguettes mobiles permet une surveillance plus aisée des colonies et par voie de conséquence le traitement ou le transvasement de colonies infestées.

1.6. Ressources naturelles

1.6.1. L'EAU

Il est nécessaire pour une colonie d'abeilles d'avoir à proximité un point d'eau. Certaines ouvrières, aux heures les plus chaudes, jouent le rôle de porteuses d'eau et peuvent pour cela parcourir de très longues distances. Certains auteurs parlent de 6 à 7 km.

Cette eau est utilisée pour préparer la nourriture acqueuse des larves (miel-eau-pollen) mais également pour assurer une bonne thermo-régulation de la ruche (besoins annuels : 15 à 20 litres/colonie).

1.6.2. LA FLORE MELLIFÈRE

Se reporter au tableau ci-joint.

2. CHOIX D'UN MODE DE DÉVELOPPEMENT DE L'APICULTURE DANS UNE ZONE DONNÉE

Une flore mellifère riche et variée, un bon niveau de technicité des apiculteurs, l'existence d'un potentiel d'écoulement des produits de la ruche, la présence d'artisans compétents, favoriseront l'option d'une apiculture moderne (par exemple : ruches kenyanes à baguettes mobiles).

Dans le cas contraire, l'amélioration des techniques traditionnelles s'inscrira dans le cadre d'une *démarche plus progressive*.

2.1. Amélioration des techniques traditionnelles

Plusieurs expériences ont montré que le passage d'une apiculture de cueillette à une apiculture de rente ne pouvait se faire sans passer par plusieurs étapes. L'appropriation technique, mais également culturelle de moyens de production doit impérativement s'harmoniser avec les pratiques traditionnelles.

Les essais d'introduction de ruches à cadres mobiles — type Langstroth, Dadant, Voirnot ou autres, — n'ont jamais donné les résultats conformes aux objectifs fixés par les organisations prêteuses ou donatrices.

Avec des moyens peu onéreux, il est possible de former les apiculteurs à une gestion plus aisée et plus rationnelle de leurs techniques en apportant quelques améliorations sensibles.

FLORE MELLIFÈRE

Epoque de floraison, couleur de la fleur et valeur apicole des plantes naturelles des forêts et des savanes ouest africaines (classification par genre)

Genre	Espèce	Epoque de Floraison	Couleur de la Fleur	Valeur apicole M : mellifère P : pollinifère
Acacia	albida	saison sèche	blanc crème	M
"	nilotica	sept.à janv.	jaune	M, P
"	seyal	oct.à mai	jaune	M, P, miel blanc
"	sieberiana	janv.à mai	jaunâtre	M, P
Adansonia	digitata	mai-juin	blanche	M
Albizia	zygia		brun rouge	M, miel amer
Anogeissus	leiocarpus	continue	jaune	M
Balanites	aegyptica	pas d'époque fixe	vert	M
Blighia	sapida			M
Bombax	costatum	nov.à fév.	rouge	M
Borassus	flabelliger			M, miel foncé et fort
Burkea	africana	janv.à avril	blanc	M, miel foncé doux
Cadaba	farinosa		blanchâtre	M, P
Capparis	corymbosa		blanche	M, P
Cassia	sieberania	fév.-mars	jaune or	M ?, P ?
Ceiba	pentendra	nov.à janv.	blanche	M, miel clair, doux
Cocos	nucifera			M, miel couleur whisky
Combretum	micranthum	juin-juil.		M, P
Cordyla	pinnata	saison sèche	blanche	?
Cratava	adansonii	janv.à avril		?
Crossopterix	febrifuga	fév.à mai	blanc grisâtre	M
Daniella	oliveri	déc.à fév.	blanche	M, miel fort
Detarium	microcarpum	juil.à nov.		M
"	senegalense	fév.à mai		M
Diospyros	mespiliformis	avril-mai		M,P
Elaeis	guineensis			M
Entada	africana		jaunâtre	M
Feretia	apodanthera	avril à juin	blanche	M,P
Gardenia	eurbescens	janv.à mai		M
"	ternifolia	janv.à mai		M
Guiera	senegalensis	fév.à juin	jaune verdâtre	M, miel fort
Hymenocardia	acida	fév.-mars	rougeâtre	M
Hyphaene	thebaïca			M, miel foncé, fort

Isoberlinia	doka	nov.à mars	blanche	M
khaya	senegalensis	déc.à avril	blanche	M, miel acidulé
Kigelia	africana	fév.à avril	rouge	M
Lannéa	acida	janv.à avril	blanche	?
"	microcarpa	début saison des pluies	blanche	?
"	velutina	début saison des pluies	jaune	M,P
Leuceana	leucocephala		blanche	M
Lophira	lanceolata		blanche	M
Maerua	angolensis	saison sèche	blanchâtre	M
"	crassifolia	fév.-mars		M
Mitragyna	inermis		blanche	M,P
Morelia	senegalensis		blanche	M,P
Nauclea	latifolia	juillet	blanche	M,P, miel amer
Parkia	biglobosa	fév.à avril	rouge	M, miel doux
Pilostigma	thoningii	déc.à juin	blanche	M
"	reticulatum	sept.-oct.	blanche	M,P
Prosopis	africana	fév.à mai	jaune clair	M, miel ambré
Pterocarpus	erinaceus	déc.à fév.	jaune or	M, miel foncé, fort
Sterculia	setigera	fév.à avril	vert clair	M
Strychnos	spinosa	fév.à avril	blanc verdâtre	M
Tamarindus	indica	déc.à mai	orangée	M, miel foncé,doux
Terminalia	albida			M
"	avicenoïdes		blanche	M
"	glaucescens			M
"	laxiflora			M
"	macroptera		jaune crème	M
Vitellaria	paradoxa	déc.à mars	blanc crème	M, miel foncé, fort
Ximénia	americana	janv.à mai	vert jaunâtre	M
Ziziphus	mauritiaca	oct.à janv.	jaunâtre	M, miel ambré, doux

Ces améliorations doivent porter sur :

2.1.1. LE RUCHER

- **Choix d'un type de ruche**

— ruche en troncs évidés ou en paille, longueur 1,20 m, diamètre 0,30 m ;
— double entrée avec un seul orifice de 3 cm sur l'un des deux couvercles.

- **Création du rucher**

Choisir :

— un emplacement ombragé seulement aux heures les plus chaudes sous couvert arbustif ou arboré (30 m² désherbés) ou création d'un rucher couvert (12 à 15 m²) ;
— la proximité d'un point d'eau (1 km maxi) ;
— l'éloignement des voies de passage (100 à 200 mètres des chemins, 500 m du village).

Prévoir :

— la clôture de son emplacement ;
— la mise en place de supports de bois imputrescible (pose des ruches à 1 mètre du sol) ;
— l'entretien du rucher (désherbage 1 fois/mois des abords des ruches, ce qui limite les risques de prédation ; désherbage des abords du rucher pour limiter les risques de feux de brousse).

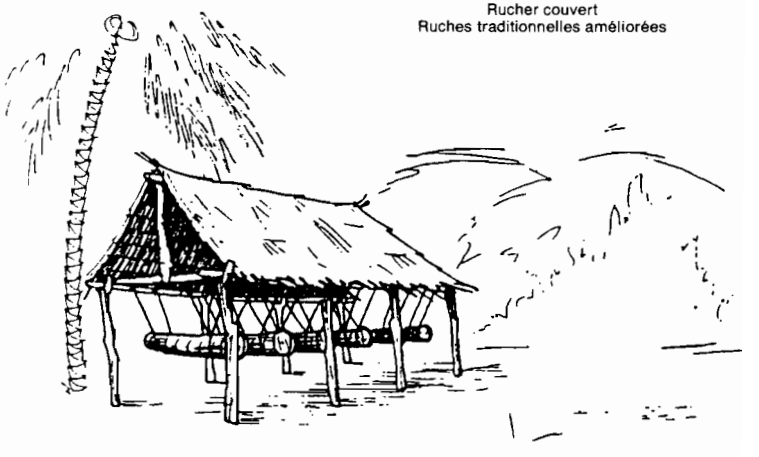
- **Piégeage des essaims**

— disposer les ruches dans un rayon de 2 à 4 km autour du rucher préalablement aménagé (sinon risques de perte d'abeilles butineuses) dans des arbres à 3 à 4 m du sol ;
— transporter la nuit les ruches peuplées avec enfumage préalable et régulièrement répété.

- **Contrôle et suivi des colonies**

— passer au rucher tous les 15 jours pour vérifier l'état extérieur des colonies.

Rucher couvert
Ruches traditionnelles améliorées



2.1.2. L'EXPLOITATION DU RUCHER

- **Récolte**

— soupeser les ruches pour récolter les plus lourdes d'entre elles ;
— effectuer la récolte nocturne avec une torche en pailles enflammées ou mieux un enfumoir.

- **Extraction du miel**

— presser manuellement les rayons ;
— effectuer le double filtrage (maille de 3 mm et 0,4 mm) ;
— maturer dans des bidons alimentaires (ex : récupération de bidons d'huile alimentaire) ;
— écumer et fermer hermétiquement les seaux, bidons ou fûts contenant le miel.

- **Conditionnement**

Vente locale :

— vente de rayons de miel non extrait ;
— vente dans des bouteilles de verre.

Ventes centres urbains :

— vente en pot de verre ou plastique de 500 g ;
— vente en fût (le miel étant conditionné par les commerçants).

2.2. Introduction de techniques modernes

Les ruches de type européen sont utilisables à la seule condition d'avoir au départ des moyens économiques tès importants.

Techniquement, la ruche kenyane s'avère la plus appropriée. D'un coût élevé si sa réalisation est en planches, elle peut être plus abordable si l'apiculteur la construit lui-même en banco ou en palmier raphia (200 à 250 F en planches, 25 à 30 F en palmier raphia ou en banco).

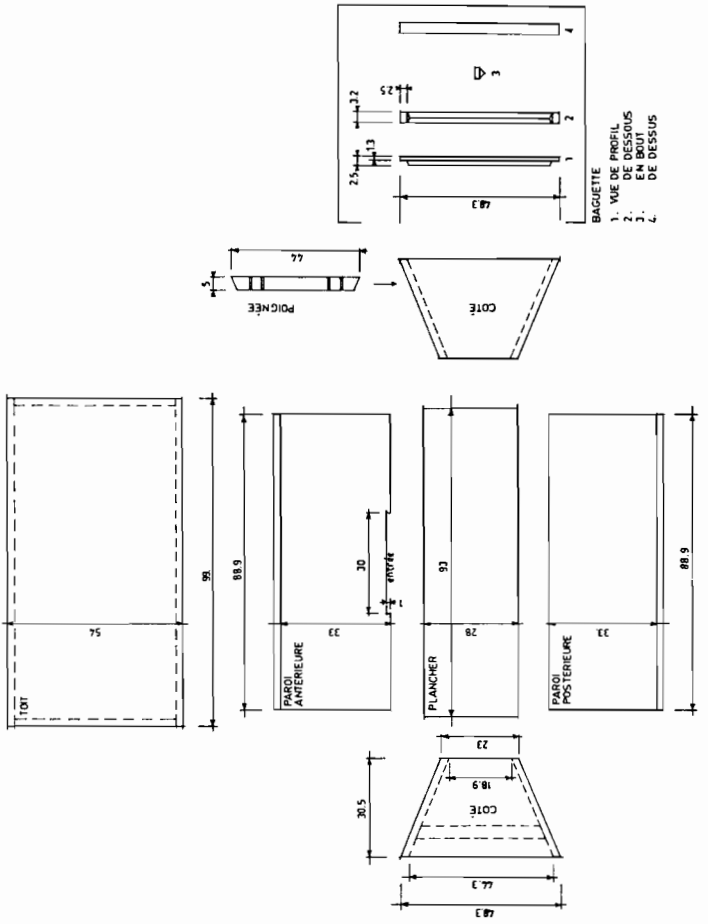
Il faut rappeler que sa vulgarisation ne peut intervenir que dans une deuxième phase, lorsque l'apiculteur a acquis la mentalité et les réflexes d'un éleveur d'abeilles.

2.2.1. LE RUCHER

- **La ruche kenyane**

Voir plan de *ruche kenyane,* page suivante (source AFVP — Bulletin n° 36).

— ruche en planche *trapézoïdale* (angle de 120° permettant aux abeilles de construire leurs rayons sans les attacher aux parois) ;
— 27 baguettes amovibles, ∅ triangulaire avec amorçage d'une lamelle de cire à la base ;
— côtés extérieurs peints ou parafinés (l'huile de vidange a la propriété de protéger le bois et d'éloigner les prédateurs) ;
— une entrée unique à la base du grand côté.



La ruche Kenyane

- **Création du rucher**

  — mêmes conditions que la création d'un rucher pour ruches traditionnelles (distances et situations) ;
  — mise en place de poteaux pour la suspension des ruches (ruches suspendues à 1 mètre du sol) ;
  — limitation à 5-6 ruches par emplacement.

- **Piégeage des essaims**

  Voir plan *ruchette kenyane*, p. 1315 (source AFVP – Bulletin n° 36).
  — 6 baguettes par ruchette ;
  — suspension des ruchettes ou pose dans les arbres ;
  — transfert nocturne des ruchettes peuplées dans l'emplacement préalablement aménagé.

- **Contrôle et suivi des colonies**

  — transvasement de l'essaim piégé dans une ruche kenyane dès que les 6 baguettes sont bâties de cire ;
  — contrôle de l'état sanitaire (éliminer la fausse teigne si elle est présente) ;
  — contrôle de la fécondité de la reine (la remplacer si la ponte est disséminée, et provoquer un élevage royal) ;
  — surveillance de l'état des provisions (si besoin compléter les réserves de miel en prélevant une baguette dans une ruche particulièrement bien pourvue) ;
  — réalisation de l'ensemble des manipulations de jour, tôt le matin ou un peu avant le crépuscule, à l'aide d'un bon enfumoir, d'une combinaison intégrale en coton, et d'une paire de gants.

2.2.2. EXPLOITATION DU RUCHER

- **Récolte du miel**

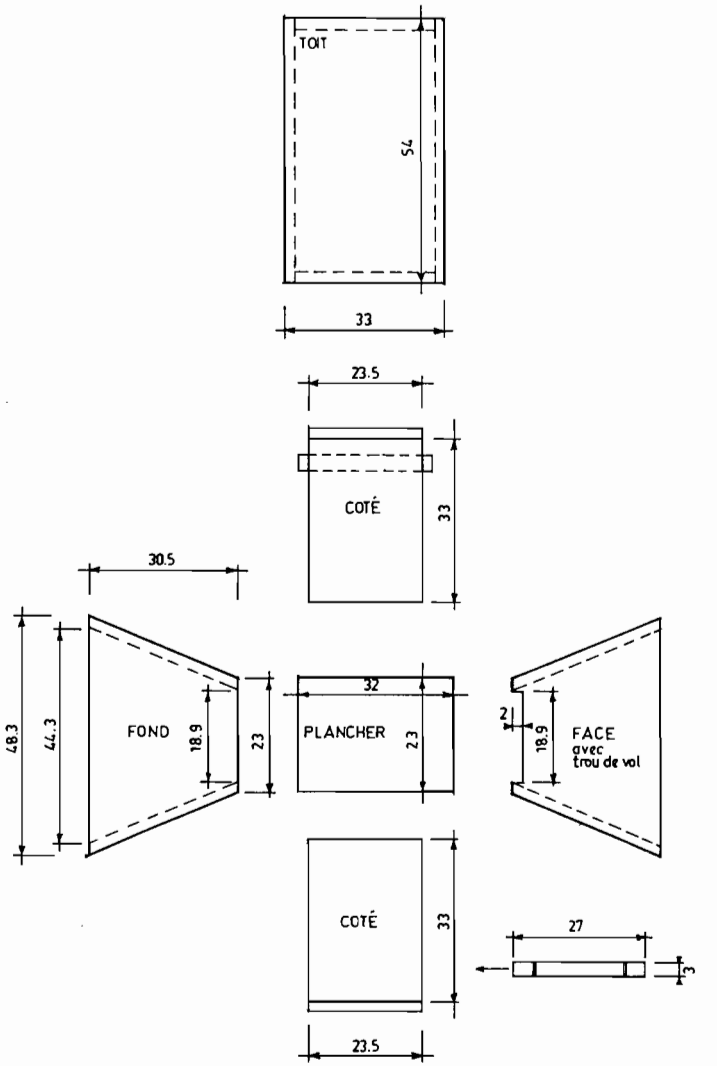
  — Opération préalable : ouverture de la ruche et repérage du nombre et de la place des baguettes de miel à récolter (prévoir de laisser deux baguettes de réserve de miel) ;
  — récolter à l'entrée de la nuit le plus rapidement possible ;
  — enfumer légèrement les baguettes, brosser les abeilles, et placer les rayons de miel dans une ruchette vide pour les transporter au village.

- **Extraction du miel**

  — pressage manuel ou avec un extracteur.

- **Conditionnement du miel**

  — mêmes procédés que pour le miel extrait de ruche traditionnelle.



Piégeage des essaims.

2.3. Exploitation de l'activité apicole

La mise en place d'un programme de développement apicole suppose la maîtrise préalable de 3 paramètres essentiels :

— niveau d'autoconsommation et potentiel de commercialisation des produits de la ruche ;
— densité et variété de l'environnement mellifère ;
— type de matériel le plus adapté, économique et reproductible localement.

L'augmentation du revenu des villageois peut s'envisager grâce à :

— la vente du miel, cire et hydromel ;
— l'augmentation des surfaces cultivées grâce à la venue de main-d'œuvre villageoise pour les travaux champêtres (invitations, dans certaines régions d'Afrique, subordonnées à la consommation de l'hydromel du paysan-apiculteur) ;
— les effets ou l'intensification d'activités artisanales villageoises (fabrication d'enfumoirs, etc.).

On trouvera dans le tableau suivant quelques chiffres permettant de comparer la rentabilité de divers types d'apiculture.

Exemple concret : Projet Apicole A.F.V.P.
(KEDOUGOU SENEGAL Oriental)

Comparaison de la rentabilité de quatre types d'apicultures :

— apiculture traditionnelle
— apiculture améliorée
— apiculture moderne (Ruches Kenyanes)
— apiculture moderne (Ruches à cadres)

Exemple concret : Projet Apicole A.F.V.P. — (Kedougou — Sénégal Oriental)
Comparaison de la rentabilité de quatre types d'apicultures

— **apiculture traditionnelle**
— **apiculture améliorée**
— **apiculture moderne (Ruches Kenyanes)**
— **apiculture moderne (Ruches à cadres)**

	RUCHES ET PRATIQUES APICOLES TRADITIONNELLES	RUCHES ET PRATIQUES APICOLES AMÉLIORÉES	RUCHE A BARETTES KTBH	RUCHE A CADRES ET TECHNIQUES APICOLES AMÉLIORÉES
1. Capital investi				
• ruche — ruchette	p.m.	p.m.	13 000 F CFA	(extracteur 13 000 F
• vêtements — enfumoir	p.m.	(bidon 5 000 F CFA	(bidon 5 000 F CFA	pour 10 5 000 F
• matériel d'extraction	p.m.	filtres) 3 000 F CFA	filtre) 3 000 F CFA	ruches, 5 000 F couteau...)
2. Frais de conditionnement	(bouteille)	(pot plastique)	(pot plastique)	(pot plastique) cire
• Conditionnement	50 F CFA/kg	100 F CFA/kg	100 F CFA/kg	200 F CFA/kg
3. Prix et vente du miel	(mauvaise qualité) 350 F CFA/kg	(bonne qualité) 1 000 F CFA/kg	(bonne qualité) 1 000 F CFA/kg	(bonne qualité) 1 000 F CFA/kg

Exemple concret : Projet Apicole A.F.V.P. — (Kedougou — Sénégal Oriental)
Comparaison de la rentabilité de quatre types d'apicultures

— **apiculture traditionnelle**
— **apiculture améliorée**
— **apiculture moderne (Ruches Kenyanes)**
— **apiculture moderne (Ruches à cadres)**

	RUCHES ET PRATIQUES APICOLES TRADITIONNELLES		RUCHES ET PRATIQUES APICOLES AMÉLIORÉES		RUCHE A BARETTES KTBH		RUCHE A CADRES ET TECHNIQUES APICOLES AMÉLIORÉES	
4. Production/an (kg)								
• année 1	0		0		0		0	
• année 2	3		4		5		5	
• année 3	5		7		8		12	
• année 4	5		7		10		18	
• année 5	5		7		12		20	
5. Bénéfice/an (3 × 4 − 2 × 4 (F CFA)		Bénéfice cumulé		Bénéfice cumulé		Bénéfice cumulé		Bénéfice cumulé
• année 1	0	0	0	0	0	0	0	0
• année 2	900	900	3 600	3 600	4 500	4 500	4 000	4 000
• année 3	1 500	2 400	6 300	9 900	7 200	11 700	9 600	13 600
• année 4	1 500	3 900	6 300	16 200	9 000	20 700	14 400	28 000
• année 5	1 500	5 400	6 300	22 500	10 800	31 500	16 000	44 000
• année 6	1 500	6 900	6 300	28 800	10 800	42 300	16 000	60 000

CHAPITRE XXI

PISCICULTURE

1. DÉFINITIONS ET GÉNÉRALITÉS

L'aquaculture est l'élevage des organismes aquatiques animaux et végétaux à des densités supérieures à celles que l'on trouve dans le milieu naturel. Les poissons, mollusques, crustacés et plantes aquatiques sont les principaux organismes aquatiques actuellement élevés et ces élevages peuvent se dérouler en eau de mer, saumâtre ou douce et l'eau peut être stagnante ou être renouvelée selon divers taux.

La pisciculture, dont il sera question ici, concerne exclusivement l'élevage des poissons.

Différents niveaux d'intensification de la pisciculture peuvent être pratiqués et l'on a coutume de distinguer :

— la pisciculture extensive sans apport d'aliment ou d'engrais ;
— la pisciculture semi-intensive avec apport d'aliment et/ou d'engrais, généralement pratiquée en étang ;
— la pisciculture intensive, apparentée généralement à un élevage hors sol.

Différentes structures d'élevage peuvent être envisagées dont les plus utilisées sont les étangs en terre, les enclos et les cages flottantes.

Le choix de l'espèce à élever devra se faire en fonction des critères suivants :

— chair de bonne qualité et appréciée des consommateurs ;
— reproduction facile dans les conditions d'élevage ;
— rusticité et facilité de manipulation ;
— croissance rapide à partir d'une alimentation économique ;
— compatibilité avec des densités d'élevage relativement élevées.

On choisira donc, de préférence, une espèce à chaîne alimentaire courte, l'alimentation des espèces carnivores étant souvent d'un prix élevé sauf lorsqu'on les utilise comme prédateurs dans des élevages pour se débarrasser de sujets de petites tailles ou indésirables.

En tout état de cause, les deux principaux facteurs de l'environnement socio-économique à prendre en compte au moment du choix des infrastructures, des méthodes et des espèces de pisciculture concernent schématiquement :

— la **population-cible,** actrice de la pisciculture ;
— le **marché** auquel est destiné le produit de la pisciculture et en

particulier le pouvoir d'achat des clients potentiels (avec également un examen attentif du problème de la concurrence produits de la pêche/ produits de la pisciculture).

2. ESPECES UTILISABLES EN PISCICULTURE

- ***Tilapia***

Les *Tilapia* (genre de la famille des Cichlidés), répondent aux conditions ci-dessus.

Tilapia nilotica (ou *Oreochromis niloticus*).

Cette espèce, reconnaissable facilement aux rayures verticales de sa nageoire caudale, est largement répandue en Afrique et atteint un poids de 2 à 4 kg dans les grands lacs.

En étang, il devient mature vers 6 mois. Les pontes se succèdent à des intervalles de six semaines à deux mois.

L'alimentation des jeunes consiste principalement en zooplancton, ensuite la part de phytoplancton devient de plus en plus grande. *T. nilotica* se nourrit aussi de larves et d'insectes.

La croissance dépend des conditions du milieu, mais la croissance des mâles est supérieure à celle des femelles.

Enfin, il utilise bien divers aliments artificiels.

D'autres espèces de *Tilapia (Oreochromis* et *Sarotherodon)* sont bien adaptées à la pisciculture dans différentes structures (étangs, enclos, cages, raceways) et milieux (eaux douces, saumâtres, stagnantes, courantes) : *T. aurea, T. mélanotheron...* ainsi que certains hybrides monosexes (exemple : *T. hornorum* ♂ *x T. mossambica* ♀).

Voir paragraphe 3.2.

- ***Heterotis***

Famille des Osteoglossidés, une seule espèce : *Heterotis niloticus.*

— Croissance rapide : 1 kg à 1 an.
— Régime alimentaire, microphage, utilise bien la nourriture artificielle.
— Maturité sexuelle à 2 ans, sexes non discernables.
— Reproduction facile en étangs (3 à 4 000 alevins/ponte), mais pertes considérables dans les étangs d'alevinage durant les premières semaines.
— Remède : utiliser les alevins des reproductions non contrôlées dans de grands étangs.
— Méthode d'élevage recommandée : élevage en association avec *Tilapia nilotica.*
— Charge : 1 *Heterotis* de 30 à 50 g pour 10 m².

- **La Carpe commune (*Cyprinus carpio*)**

Famille des Cyprinidés — Adaptée à la pisciculture.

— Supporte des températures allant de 0 à 40 °C.
— Se reproduit dans l'eau dont la température atteint 20 °C la femelle dépose ses œufs sur la végétation du fond des étangs.

— Maturité sexuelle entre un et trois ans.
— Régime alimentaire omnivore.
— Croissance rapide si elle est placée dans de bonnes conditions : 400 à 500 g en 6 mois.

a) Reproduction par la méthode des Kakabans (Madagascar)

Dans l'étang frayère de 1 are environ, dépourvu de végétation, on place six kakabans, formés d'une couche de fibre végétale (Piassava) comprimée entre deux lattes. On dépose ensuite les géniteurs : une femelle et deux mâles. Si les géniteurs sont matures, la ponte a lieu rapidement et la femelle dépose ses œufs sur les kakabans. Ceux-ci sont alors transportés dans des caisses d'incubation immergées aux 2/3 de la hauteur. La durée d'incubation est de l'ordre de trois jours et les alevins y séjournent pendant trois ou quatre jours. Après résorption de la vésicule, ils sont transférés en étang d'alevinage.

b) Alevinage

On favorise le développement des alevins de trois jours par distribution de nourriture artificielle appropriéé ou fertilisation organique préalable de l'étang à partir d'un élevage de canards.

Un taux de survie de 50 % est considéré actuellement comme satisfaisant.

- ***Clarias***

Famille des Claridés, ordre des Siluriformes.

— Supporte les températures élevées et des eaux très peu oxygénées. Peut vivre en eau saumâtre.
— Régime alimentaire omnivore.
— Consomme le plancton et la nourriture artificielle, quelquefois carnassier.
— Croissance rapide : 400 à 500 g en 5 mois.

La reproduction contrôlée des *Clarias* peut être obtenue en étang ou en bac, avec ou sans injection d'extraits hypophysaires mais cette dernière méthode tend à se généraliser.

- ***Chrysichthys***

Famille des Bagridés, ordre des Siluriformes.

Ce genre, dont il existe plusieurs espèces, vit en milieu d'eau douce et d'eau saumâtre.

La maîtrise récente de son élevage (*C. nigrodigitatus*) est liée au contrôle de sa reproduction (au moins durant quelques mois de l'année – en période de crue dans le pays où il est élevé, Côte d'Ivoire principalement –) et à son aptitude à croître sur un aliment artificiel.

Les premiers stades d'élevage sont délicats et nécessitent des infrastructures d'écloserie (incubation, élevage larvaire). A partir d'un poids moyen de 15 g, les *Chrysichthys,* mis en charge à raison de 10/m^2 en enclos (5 à 10 ares), atteignent le poids de 250 à 300 g en 12 mois d'élevage avec un aliment artificiel granulé dosant 30 % de protéines.

L'élevage de ce poisson doit être précédé d'une étude du marché local compte tenu de son coût de production qui reste, encore à l'heure actuelle, relativement élevé.

3. LA PISCICULTURE INTENSIVE EN ÉTANG

3.1. Les étangs de pisciculture intensive

• Conditions d'installation des étangs

Il existe deux conditions de base (l'eau et le terrain), auxquelles il faut ajouter celles relatives à l'exploitation et à l'économie de la pisciculture.

— L'eau :

Il faut pouvoir remplir les étangs facilement et compenser les pertes par évaporation et infiltration.

Le débit maximum, au moment des fortes crues, doit pouvoir être évacué facilement par les trop-pleins et les déversoirs.

Les eaux impropres à la pisciculture sont assez rares (pollution), mais la production des étangs peut varier suivant les caractères physiques et chimiques de l'eau.

Les eaux chargées de matières en suspension ne sont pas favorables à la pisciculture. Il faut donc éviter d'alimenter les étangs avec des eaux trop turbides.

La température de l'eau doit convenir aux exigences biologiques des poissons (reproduction, alimentation, croissance). Dans les régions tropicales, la température de l'eau (comprise entre 15 et 30 °C) est très favorable.

Les sels dissous dans l'eau d'alimentation des étangs dépendent de la nature des terrains traversés. On détermine la qualité d'une eau par le pH et la réserve alcaline. Les eaux les meilleures sont légèrement alcalines et possèdent des réserves appréciables.

Parmi les gaz dissous dans l'eau, l'oxygène est le plus important. La plupart des poissons tropicaux ont des besoins en oxygène modérés par rapport aux poissons des pays tempérés. Lorsque des matières organiques s'accumulent dans un étang, elles entrent en putréfaction et créent un déficit en oxygène nuisible aux poissons.

Certaines espèces à respiration double s'adaptent sans dommage à ce milieu (exemple : *Clarias sp.*).

— Le terrain :

Pour la construction des étangs, le sol doit être imperméable et facile à creuser. Les sols renfermant un mélange d'argile et de sable sont les meilleurs.

Le relief du terrain conditionne le type, la surface, la forme, la profondeur et le nombre d'étangs à installer. Les deux données essentielles sont la pente en long du cours d'eau et le profil en travers de la vallée.

• Type d'étangs

— Les étangs de barrage sont établis dans le fond d'une vallée en construisant une digue en travers de celle-ci.

— Les étangs en dérivation sont établis sur le côté d'une vallée et alimentés en eau par un canal à partir de sources ou d'une rivière.

— Forme, dimensions, profil des étangs (fig. 1 et 2).

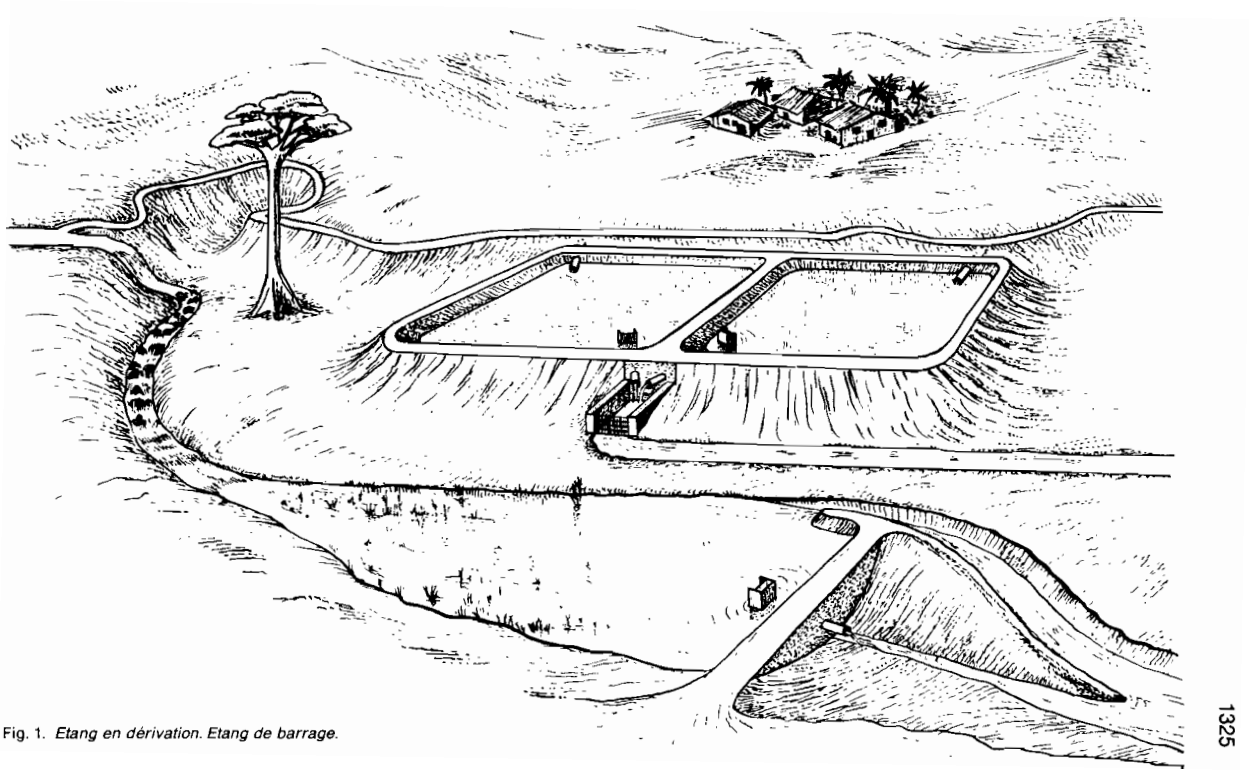


Fig. 1. *Etang en dérivation. Etang de barrage.*

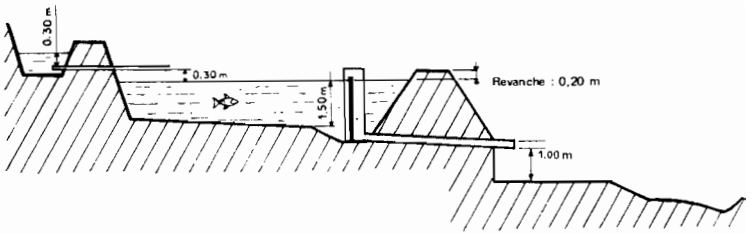


Fig. 2. *Détermination des niveaux dans un étang.*

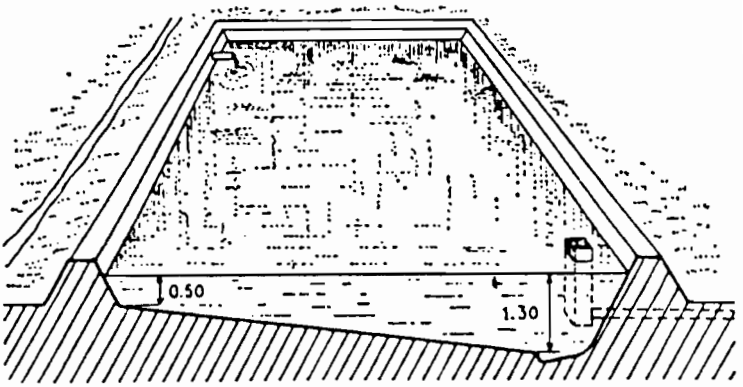


Fig. 3. *Coupe en travers d'un étang.*

- **Construction des étangs**

— Alimentation en eau

On peut utiliser des tuyaux métalliques ou en P.V.C., des buses en ciment ou une tranchée ouverte dans la berge et munie d'une vanne noyée.

Très souvent, il est indispensable d'élever le niveau de l'eau de la rivière par un petit barrage (clayonnage, pierres, argile ou béton) édifié à l'aval de la prise d'eau et pourvu d'un déversoir.

La section des canaux est trapézoïdale et leur pente de l'ordre de 1 ‰.

— Assiette de l'étang :

La pente de l'assiette vers l'orifice de vidange doit donc être douce (2 à 5 %) et régulière (fig. 3).

— Appareil de vidange : le moine (fig. 4).

— Pêcherie (fig. 5).

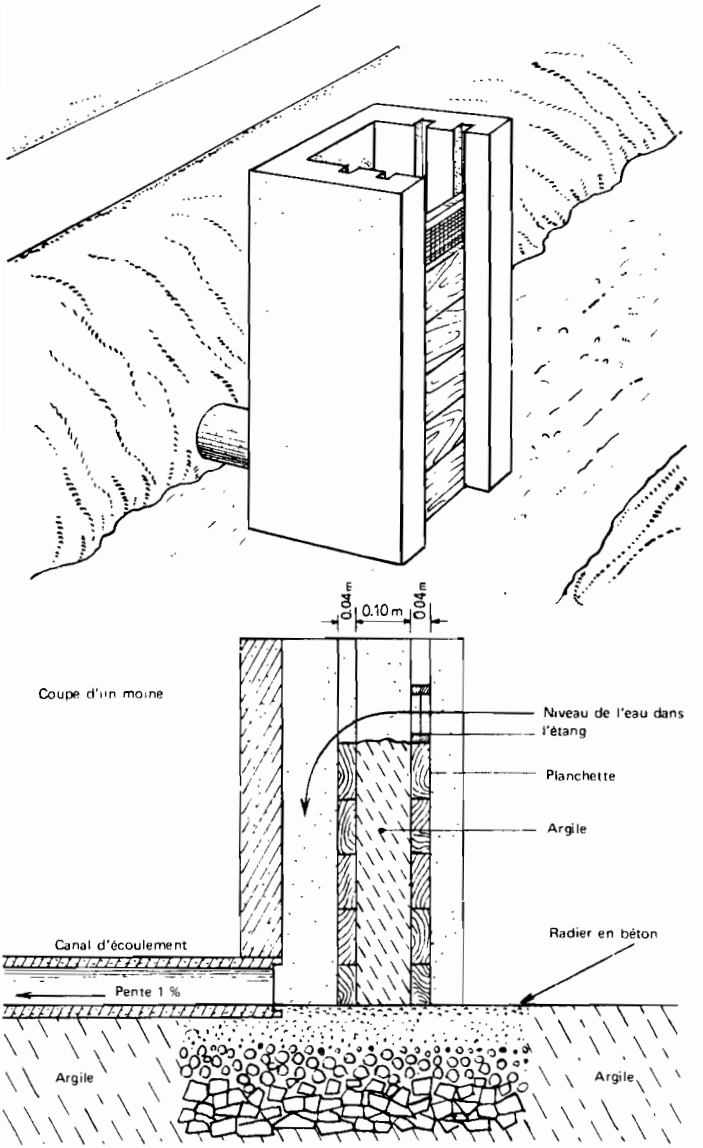

0.04 m
0.10 m
0.04 m
Coupe d'un moine
Niveau de l'eau dans l'étang
Planchette
Argile
Radier en béton
Canal d'écoulement
Pente 1 %
Argile
Argile

Fig. 4. *Moine.*

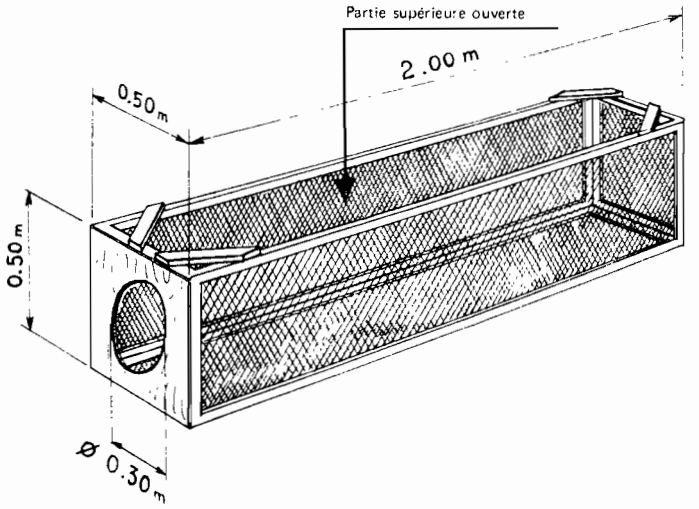


Fig. 5. *Caisse de capture.*

3.2. Conduite d'une pisciculture en étang

- **Apport de nourriture**

Tous les déchets de transformation des produits alimentaires (sous-produits agricoles et agro-industriels) peuvent être utilisés en pisciculture. Une partie est consommée directement par le poisson, le reste contribue à la fertilisation organique de l'étang (le cas des élevages associés est traité au § 7).

On peut schématiquement distinguer les aliments simples (un seul sous-produit : son de riz, drèches de brasserie, etc.) et les aliments composés. Ces aliments peuvent être distribués sous différentes formes : brute, pulvérulente, granulée, etc.

Plus l'aliment utilisé est élaboré, plus les densités de mise en charge peuvent être élevées et les rendements obtenus par unité de surface importants.

On apprécie la valeur de la nourriture par la mesure du coefficient de transformation.

$$Qn = \frac{\text{Poids de la nourriture distribuée (préciser \% humidité)}}{\text{Poids du poisson récolté} - \text{poids du poisson mis en charge}}$$

Exemples :

— Granulés (15 % H_20), Qn proche de 2 ;

— tourteaux d'oléagineux, Qn = 3 environ ;

— drèche de brasserie (80 % H_2O), Qn de l'ordre de 12 ;
— végétaux verts, Qn très élevé (30).

Les rations alimentaires doivent permettre de satisfaire tous les besoins nutritifs des poissons. Elles devront donc être calculées et adaptées aux différents stades d'élevage.

L'administration de la nourriture doit se faire à intervalles réguliers, si possible quotidiennement et même plusieurs fois par jour.

- **Méthodes d'élevage**

Dans l'état actuel des connaissances, les techniques d'élevage les mieux maîtrisées sont celles des *Tilapia.*

Le problème essentiel posé par la pisciculture des *Tilapia* est leur grande prolificité, liée à une maturation précoce et à une fréquence élevée des pontes, qui entraîne un surpeuplement et un nanisme des populations mises en élevage.

Deux types de méthodes sont à envisager pour résoudre ce problème :

a) élevage d'individus du même sexe (monosexe), spécialement les mâles dont la croissance se révèle supérieure à celle des femelles ;

b) élevage de *Tilapia* associé à des prédateurs qui consomment les alevins produits.

La première solution peut être mise en œuvre par 3 procédés principaux :

— Sexage manuel des *Tilapia* lorsque ceux-ci ont atteint une taille suffisante (30 g environ) pour permettre la distinction, par l'examen des orifices génitaux, entre individus mâles et femelles.
— Production d'hybrides monosexes à partir de certaines espèces de *Tilapia (Tilapia hornorum* ♂ *x Tilapia mossambica* ♀ *; Tilapia hornorum* ♂ *x Tilapia nilotica* ♀ *; Tilapia macrochir* ♂ *x Tilapia nilotica* ♀*).* La réalisation pratique de tels élevages se heurte à la grande difficulté de conserver en station les lignées pures de géniteurs indispensables au bon déroulement des croisements interspécifiques. De plus, la vulgarisation d'une telle méthode exige l'approvisionnement régulier des pisciculteurs en hybrides à partir de stations d'alevinage spécialisées dans leur production.
— Réversion du sexe des alevins juste éclos par traitement chimique avec une hormone de synthèse, la méthyltestostérone. Sa mise en œuvre ne peut s'envisager que dans des stations spécialisées mettant en œuvre des techniques de précision : dosage de l'hormone, contrôle de l'eau d'alimentation, utilisation d'antibiotiques.

La deuxième solution, association *Tilapia*-prédateur, apparaît comme la plus simple à mettre en œuvre et permet d'obtenir d'excellents résultats, en particulier lorsqu'elle est couplée au premier procédé d'élevage monosexe (sexage manuel ; les erreurs de sexage obligent à l'introduction d'un prédateur dans les élevages).

Trois prédateurs peuvent être utilisés : *Lates niloticus, Clarias lazera, Hemichromis fasciatus,* avec une nette préférence pour ce dernier.

L'équilibre proie-prédateur est obtenu de la façon suivante :

Quantités de prédateurs nécessaires au contrôle de populations de *Tilapia nilotica*. Durée des élevages : 4 à 6 mois

PRÉDATEUR				POPULATION DE *TILAPIA NILOTICA* CONTRÔLÉE	REMARQUES
ESPÈCE	NOMBRE	P.M. (g)	P.T. (kg)		
Lates niloticus	19	118	2,2	300 ♂ + 300 ♀	• Prédation totale (< 1 % d'indice pondéral de recrutement) • Pas d'alevins de *Lates* récoltés
	20	131	2,6	300 ♂ + 300 ♀	
	16	185	3	300 ♂ + 300 ♀	
	28	123	3,4	600 ♂ + 600 ♀	
	22	121	2,7	600 ♂ + 600 ♀	
	32	86	2,7	600 ♂ + 600 ♀	
Clarias lazera	112	114	12,8	500 ♂ + 500 ♀	10 % en poids d'alevins de *T.n.* à la récolte
	260	172	44,7	600 ♂ + 600 ♀	Prédation complète
	260	182	47,3	600 ♂ + 600 ♀	
Hemichromis fasciatus	68	67	4,6	600 ♂ + 600 ♀	200 alevins d'*Hemichromis* (p.m. # 5 g) récoltés 36 alevins d'*H.* (5 g) récoltés 55 alevins d'*H* récoltés 0 alevin d'*H* récolté
	70	72	5	600 ♂ + 600 ♀	
	63	76	4,8	600 ♂ + 600 ♀	
	75	18	1,3	900 ♂ + (10 % de ♀)	
	75	18	1,3		
	100	16	1,6	900 ♂ (8 % de ♀)	
	?	?	4	1300 ♂ (5 % de ♀) 2100 ♂ (5 % à 15 % de ♀)	

D'une façon pratique, une population de 1 200 *Tilapia nilotica* non sexés est contrôlée par une biomasse de 5 kg d'*Hemichromis fasciatus ;* une même population sexée manuellement (# 5 % d'erreur) est contrôlée par une biomasse de 1,5 kg du même prédateur.

Toutes ces techniques impliquent la mise en œuvre de méthodes d'élevage par classes d'âges séparées. Elles comprennent généralement 3 phases :

— production d'alevins (p.m. # 1 à 5 g suivant la fréquence des pêches),
— production de fingerlings (p.m. # 30 g),
— production de poisson de taille marchande (p.m. > 150 g).

Production d'alevins

Elle peut être réalisée en étangs mais aussi en structures artificielles (raceways, bacs en béton ou plastique...).

Dans l'état actuel de nos connaissances, les meilleures productions d'alevins obtenues l'ont été en étangs de 4 ares et dans les conditions suivantes :

— mise en charge : 70 ♂ (p.m. # 150 g) + 200 ♀ (p.m. # 300 g),
— alimentation : 15 g/jour/géniteur d'un mélange 1/2 son de riz + 1/2 tourteau de coton — distribution 2 fois/jour à la surface de l'étang,
— 1re pêche après 35 jours d'élevage, puis pêche tous les 15 jours (senne confectionnée avec filet à mailles tricotées de 6 mm de côté, fil 210/12),
— durée d'élevage = 130 jours (au-delà, la quantité d'alevins récoltés décroît).

Dans ces conditions, la quantité totale d'alevins produits est de 85 000 d'un poids moyen égal à 1,5 g. On peut augmenter le poids moyen des alevins en augmentant l'intervalle entre 2 pêches (et en utilisant un filet à plus grande maille), mais la quantité globale d'alevins récoltée est inférieure.

Production de fingerlings

Le niveau d'intensification de la production de fingerlings de *Tilapia nilotica* en étangs dépend essentiellement du type d'aliment utilisé. Plus l'aliment utilisé est élaboré, plus les densités de mise en charge peuvent être élevées et les rendements obtenus par unité de surface importants.

Différents niveaux de production sont décrits dans le tableau suivant.

Production de fingerlings à différents niveaux d'intensification

	ALIMENT 1	ALIMENT 2	ALIMENT 3*	ALIMENT 4*
Durée d'élevage (jours)	35	65	60	48
Densité (poissons/m²) . .	3	15	25	25
Poids moyen initial (g). .	5	5	9	9
Poids moyen final (g) . .	29	27	33	27
Croissance individuelle (g/j)	0,7	0,3	0,4	0,4
Rendement (t/ha/an) . . .	7	15	26	31
QN	5	2	2	1,8

Aliment 1 = son de riz
Aliment 2 = 50 % de riz + 50 % tourteau de coton
Aliment 3 = 20 % son de riz + 60 % tourteau de coton + 20 % farine de poisson
Aliment 4 = 20 % son de riz + 40 % tourteau de coton + 40 % farine de poisson

* eau continuellement renouvelée (vidange de fond) et fertilisation organique (100 kg de fumier sec de porc ou de poule par hectare et par jour).

Les résultats obtenus permettent de proposer un certain nombre d'alternatives pour la production de fingerlings en étangs : de la moins intensive

(avec un sous-produit végétal brut) à la plus intensive (aliment à 40 % de protéines, dont 1/3 d'origine animale et renouvellement important de l'eau des étangs).

Production de poisson marchand

Une fois résolu le problème de la prolifération des *Tilapia* en cours d'élevage (monosexes et/ou prédateurs), le rendement en *Tilapia* marchand dépend essentiellement de :

— la densité de mise en charge ;
— l'aliment (ou l'engrais) utilisé.

Le tableau suivant résume les différents niveaux de rendement que l'on peut obtenir en étangs, en fonction de ces 2 facteurs.

Données sur la production de *Tilapia nilotica* marchand associé au prédateur *Hemichromis fasciatus*, en étangs (4 et 10 ares) en Côte d'ivoire

DENSITÉ MISE EN CHARGE	P.M. INITIAL (g)	ALIMENT OU ENGRAIS	DURÉE ÉLEVAGE (MOIS)	RENDEMENT (t/ha/an)	QN	P.M. FINAL (g)
1 /m² (♂ + ♀)	30	1*	5	5	7	210 (♂ + ♀)
3 /m² (♂ + ♀)	30	2**	3	8	2,2	110 (♂ + ♀)
2 /m² (♂)	30	3*	8	7	3,5	270 (♀)
2 /m² (♂)	40	4**	5	10	2,8	260 (♀)
3 /m² (♂)	40	4**	5	12	2,6	220 (♀)
2 /m² (♂)	40	5**	5	14	2	280 (♀)
3 /m² (♂)	40	5**	5	15	2,3	250 (♀)
3 /m² (♂ + ♀)	30	6*	2	6	—	95 (♂ + ♀)
1,5/m² (♂)	115	6*	3	5	—	190 (♂)
3 /m² (♂)	35	6**	3	9	—	110 (♂)
2 /m² (♂)	120	6**	3	7	—	190 (♂)
2 /m² (♂)	45	6**	5	10	—	260 (♂)

* résultats testés en vraie grandeur
** résultats obtenus en station de recherche
élevage effectué en 2 cycles
1. son et farine de riz bruts (10-12 %) protéines),
2. 77 % son de riz + 18 % tourteau de coton + 5 % farine de poisson (21 % protéines)
3. 75 % son de riz + 25 % tourteau de coton (20 % protéines)
4. 69 % son de riz + 31 % tourteau de coton (23 % protéines)
5. 75 % son de riz + 15 % tourteau de coton + 10 % farine de poisson (23 % protéines)

Tous ces aliments sont distribués sous forme pulvérulente à la surface de l'étang, dans des cadres flottants.

6. élevage associé porc-poisson (1 porc/are) — débit d'eau permanent (débit d'eau fictif continu # 7 l/s/ha).

On peut donc retenir, schématiquement, 4 niveaux de rendement de *Tilapia nilotica* en étangs :

— 5 tonnes/ha/an (élevage de *Tilapia* non sexés, alimentation avec issue de céréale brute ou lisier de porc).
— 8 tonnes/ha/an (élevage de *Tilapia* mâles sexés manuellement, alimentation avec un mélange de sous-produits végétaux à 20 % de protéines ou lisier de porc).
— 10 tonnes/ha/an (élevage de *Tilapia* mâles, alimentation avec un mélange de sous-produits végétaux à 25 % de protéines).
— 15 tonnes/ha/an (élevage de *Tilapia* mâles, alimentation avec un mélange à 25 % de protéines dont 1/4 d'origine animale).

4. LA PISCICULTURE INTENSIVE EN CAGE FLOTTANTE

Les cages peuvent être installées en eau libre ou dans des retenues naturelles ou artificielles. Du fait de la non maîtrise de l'eau, toute implantation devra être précédée d'une étude approfondie des conditions hydrologiques du site.

La structure d'élevage comprend une partie flottante servant de support à une partie immergée dans laquelle se trouvent les poissons. Celle-ci est le plus souvent réalisée en filet ou treillis plastique dont la dimension des mailles empêche toute fuite de poissons (fig. 6, 7 et 7 bis).

La dimension des poches immergées peut varier de quelques m^3 à plusieurs dizaines de m^3 selon le type d'élevage réalisé.

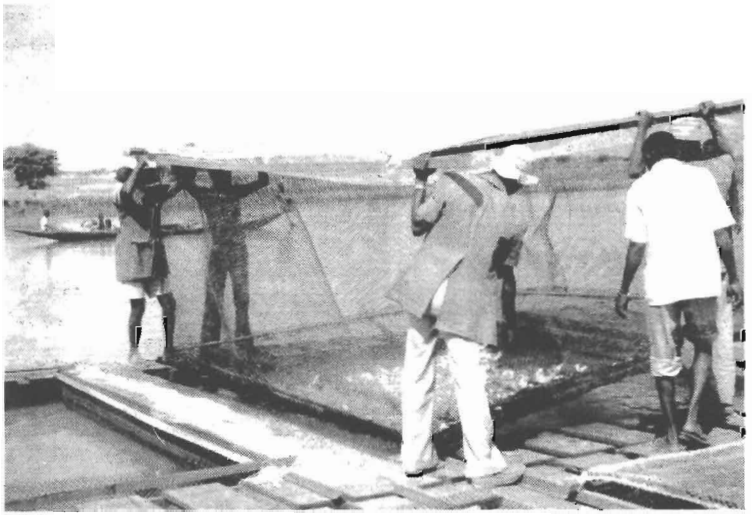


Fig. 6. *Cage flottante sur le Fleuve Niger (région de Tillabéry).*

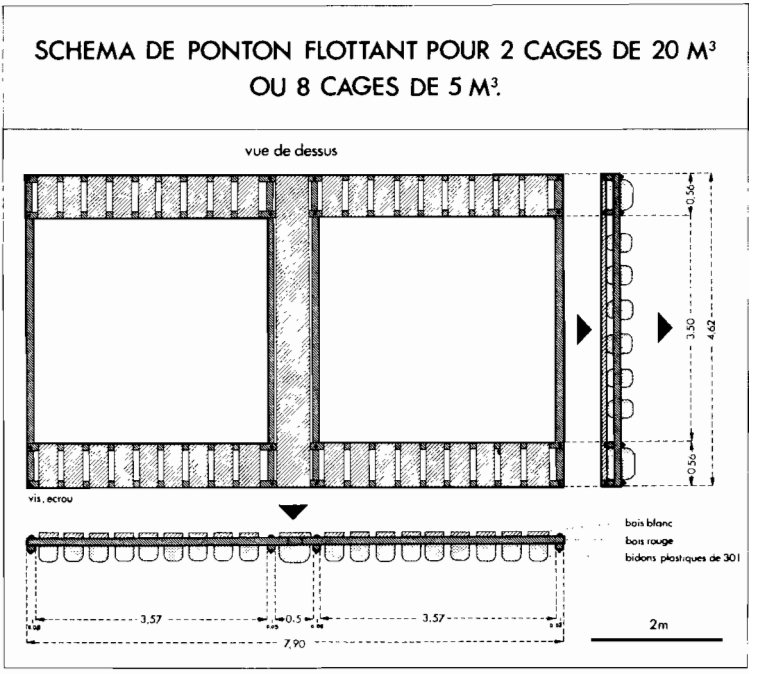


Fig. 7.

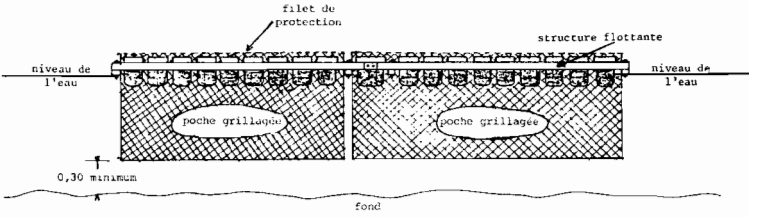


Fig. 7 bis. *Schéma de cages flottantes.*

Ces structures conviennent exclusivement pour le grossissement des poissons et ne permettent pas dans l'état actuel des connaissances leur reproduction. Il est donc nécessaire de prévoir un approvisionnement en alevins à partir de structures à terre.

Ce genre d'élevage doit être considéré comme un élevage hors-sols dans lequel l'eau constitue un support physique véhiculant l'oxygène et assurant l'élimination des déchets.

L'aliment doit donc être suffisamment élaboré pour assurer la plus grande partie sinon la totalité des besoins nutritifs des poissons.

Les derniers résultats obtenus concernent les élevages de *Tilapia nilotica* réalisés dans le Fleuve Niger.

La production se fait en deux phases :

— production de fingerlings à partir d'alevins de poids moyen égal à 4 g réalisée en cages de 3,5 m^3 de volume en eau,

— production de poissons marchands à partir de fingerlings mâles de 30 g jusqu'à 220 à 250 g de poids moyen réalisée en cages de 16 m^3 de volume en eau.

Les poissons sont nourris quatre fois par jour, les rations alimentaires étant calculées et réajustées périodiquement en fonction du tableau suivant :

Taux de nourrissage journalier appliqué pour le grossissement des *Tilapia nilotica* en cages

POIDS MOYEN DES POISSONS EN g	TAUX DE NOURRISSAGE JOURNALIER EN FONCTION DE LA BIOMASSE POISSONS
pm < 5	15 %
5 < p.m. < 10	10 %
10 < p.m. < 20	8 %
20 < p.m. < 30	6 %
30 < p.m. < 150	3 %
150 < p.m. < 200	2,5 %
200 < p.m. < 250	2 %

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau suivant :

Production de *Tilapia nilotica* en cages

PHASE D'ÉLEVAGE / PARAMÈTRES D'ÉLEVAGE	PRÉGROSSISSEMENT FINGERLINGS	GROSSISSEMENT POISSONS MARCHANDS
Densité d'élevage	860/m³	100/m³
Aliment	*40 % tourteau d'arachide 40 % son de riz 20 % farine de poisson	**45 % tourteau d'arachide 50 % son de riz 5 % farine de poisson
Qn	3,4	2,9
Croissance individuelle moyenne	0,3 g/j	0,9 g/j
Taux de survie	80 %	91 %
Durée du cycle	2 mois	8 mois
Rendement***	60 kg/m³/an	20 kg/m³/an

* Aliment distribué sous forme pulvérulente dans des mangeoires.
** Aliment distribué sous forme de granulés de 4 mm de ∅ sur toute la surface de la cage.
*** Les rendements sont calculés sur une année intégrant les fluctuations de la production liées aux conditions climatiques (saison froide/saison chaude).

5. LA PISCICULTURE EN ENCLOS

Les enclos peuvent être installés partout où la profondeur et le marnage de l'eau sont peu importants. Ils sont susceptibles donc de valoriser des lagunes, des mares ou des zones lacustres peu profondes possédant une productivité naturelle non négligeable.

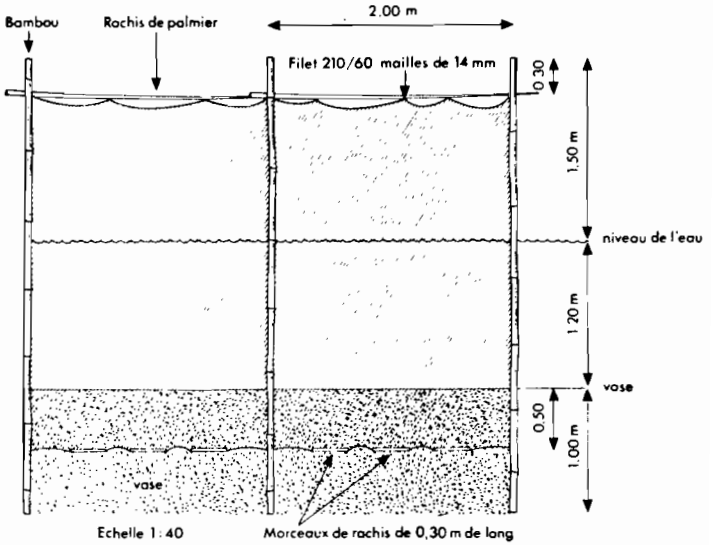
Les enclos sont des enceintes entièrement closes, généralement réalisées en filet et fixées sur le fond de façon à empêcher toute fuite des poissons. La ralingue supérieure, qui soutient le filet, doit également dépasser nettement le niveau maximum atteint par les eaux (fig. 8).

Leurs dimensions sont variables mais de façon générale très supérieures à celles des cages (plusieurs centaines de m²).

Ces structures sont essentiellement utilisées pour le grossissement des poissons et doivent donc pouvoir être approvisionnées en alevins.

La pisciculture en enclos permet d'utiliser, quand elle existe, la productivité naturelle, améliorée ou non par apport d'aliment, et de pratiquer une pisciculture de type semi-intensif.

DÉTAIL DU MONTAGE



VUE D'ENSEMBLE DE L'ENCLOS

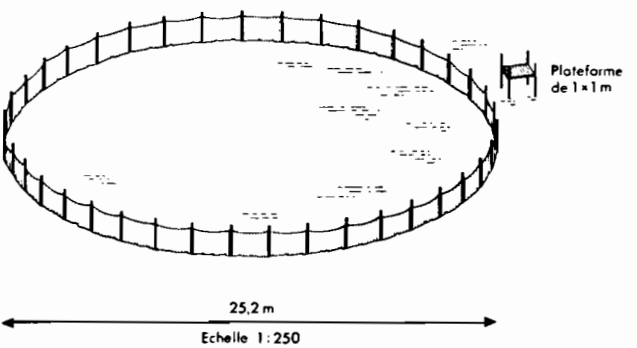


Fig. 8. *Montage et vue d'ensemble d'un enclos circulaire*

Les derniers résultats obtenus concernent des élevages de *Tilapia nilotica* réalisés au Bénin dans des enclos de 500 m² installés dans le Lac Nokoué. Avec des densités de 15 à 25 poissons par m² et un aliment composé granulé comprenant 15 % de farine de poisson + 30 % de tourteau d'arachide ou de coton + 23 % de son de blé + 20 % de drèches de brasserie + 10 % de fientes de poulet + 2 % de coquilles d'huîtres + 0,25 % de supplément vitaminé, les croissances obtenues ont été de 0,9 g/j avec un Qn = 4.

6. LA RIZIPISCICULTURE

- **La rizipisciculture doit être envisagée seulement si les conditions suivantes sont réunies :**
  - — apport d'eau régulier et suffisant ;
  - — espèces d'élevage disponibles bien adaptées à la rizière ;
  - — habileté professionnelle des cultivateurs ;
  - — marché susceptible d'absorber des poissons de petite taille (50 g).

- **Aménagement des casiers pour la rizipisciculture :**
  - — diguettes parfaitement étanches et surélevées ;
  - — dispositif d'alimentation en eau interdisant l'entrée des espèces sauvages ;
  - — installation de drains périphériques et trous refuges pour les poissons ;
  - — système de vidange fonctionnant comme trop plein (digue percée).

- **Elevage du poisson et récolte :**
  - — époque d'empoissonnement : huit jours après le repiquage du riz ;
  - — densité (en milieu fertilisé et avec distribution de nourriture) :
    Carpes (alevins de 3 à 5 cm) : 12 à 50 carpillons/are.
    Tilapia (alevins de 5 g) : 25 à 40 poissons/are.

Il est intéressant de mélanger les espèces pour mieux utiliser la nourriture.

Les traitements phytosanitaires (lindane) ne causent pas de dégâts à la population piscicole si l'insecticide est réparti seulement sur la plate-forme lors d'une mise à sec. Les poissons se réfugient alors dans les drains comme ils le font lors des sarclages.

On draîne la rizière un ou deux jours avant la récolte du riz. On récolte ensuite le poisson avec des épuisettes à l'amont ou à l'aval du système de vidange.

7. LES ÉLEVAGES ASSOCIÉS À LA PISCICULTURE

En associant l'élevage du petit bétail et des animaux de basse-cour avec la pisciculture, on met à la disposition des poissons la fraction des aliments gaspillés par les animaux, et les déjections organiques de ceux-ci parfois très riches en aliments incomplètement digérés.

Dans ce type d'élevage, le poisson doit être considéré comme un sous-produit. Les poissons ne sont pas nourris et le seul coût lié à cette production est dû à l'échat des alevins et de filets de pêche (outre l'investissement de départ pour la construction des étangs).

• **Les différents types d'associations pratiquées sont :**

— Association canards-poissons.

On peut élever des canards et éventuellement des oies à proximité des étangs de pisciculture en laissant les oiseaux circuler sur les plans d'eau. On peut également, comme pour les poules, prévoir une canardière sur pilotis.

— Association porcs-poissons.

Cette association donne des rendements piscicoles nettement supérieurs et semble plus facile à réussir en milieu rural.

Les porcs ont besoin d'un enclos bien ventilé et doivent pouvoir s'abriter du soleil.

— Association poules-poissons.

Dans les exemples précédents, la possibilité d'accès aux plans d'eau permettait une fertilisation directe des étangs.

Pour l'association poules-poissons, il faut prévoir un poulailler sur pilotis au-dessus de l'étang, avec un plancher à claire-voie qui permet aux fientes et aux déchets de tomber dans l'eau.

• **Quelques données sur ces types d'élevages sont présentés dans le tableau suivant :**

Résultats d'élevage associés

TYPE D'ÉLEVAGES ASSOCIÉS	CANARDS POISSONS	POULES POISSONS	PORCS POISSONS
Nombre d'animaux par ha	1000-1500	1000-3000	100
Rendement obtenu en poissons (t/ha/an)	4,0-5,5	3,5-5,0	5-10

8. ASPECTS SANITAIRES DE L'USAGE DES EAUX CONTINENTALES TROPICALES

8.1. Maladies transmises par les insectes : paludisme

Les moustiques et particulièrement les moustiques vecteurs du paludisme, pondent leurs œufs au contact de l'eau et leurs larves vivent dans l'eau stagnante. Mais les moustiques recherchent les abris, les petites flaques et ne pondent pas dans les étendues d'eau libre. Si l'étang de pisciculture est propre, il ne favorise pas leur développement. Au reste, si l'étang est bien nourri, les eaux contiennent beaucoup de matière organique ce qui contrarie aussi le développement des moustiques. Enfin, beaucoup de poissons utilisés en pisciculture consomment les larves.

On conseille parfois des déversements d'insecticides pour tuer les larves. Mais ces insecticides sont dangereux pour le poisson et leur efficacité est très limitée si l'étang est sale car les larves sont abritées. En étangs propres, leur utilité est très restreinte puisqu'il n'y a pratiquement pas de larves.

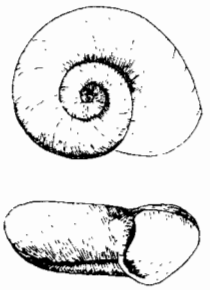
8.2. Maladies transmises par les mollusques : bilharziose

La bilharziose est une maladie qui se contracte par contact avec l'eau lorsque celle-ci renferme des organismes microscopiques contaminants appelés « cercaires » qui nagent librement dans l'eau. Ils passent à travers la peau de l'homme, se répandent dans la circulation sanguine et se transforment en vers adultes qui vivent dans l'intestin ou la vessie. Ils causent différents troubles : la manifestation la plus courante est le sang dans les selles ou les urines. Si les selles et les urines d'un individu atteint de bilharziose arrivent dans l'eau, les œufs du ver parasite qui y sont contenus libèrent un petit embryon, le *miracidium*. Pour se développer, le miracidium doit passer à travers le corps de certaines espèces de mollusques aquatiques qui sont semblables à de petits escargots (fig. 9). A l'intérieur du corps du mollusque, le miracidium se transforme en cercaire et le cycle recommence.

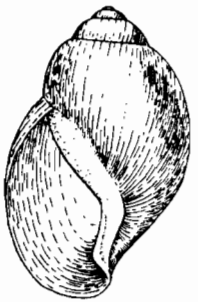
Tout comme le paludisme, la bilharziose est une maladie grave.

On lutte contre la bilharziose en empêchant la contamination des eaux (construction de latrines), en soignant les malades, en évitant les eaux contaminées et en détruisant les mollusques par ramassage, par traitement chimique, par lutte biologique (poissons malacophages, canards), en réduisant les supports auxquels les mollusques peuvent s'accrocher.

Aucun de ces moyens de lutte n'est actuellement vraiment satisfaisant et il y a encore beaucoup de recherche à faire, mais, comme pour le paludisme, la propreté des étangs, l'absence de végétation aquatique, constituent un progrès certain. Il reste à appliquer des mesures appropriées sur le terrain en particulier dans les abreuvoirs à bétail.



Biomphalaria pfeifferi, Rhodésie
Hôte intermédiaire de *Schistosoma mansoni*.



Bulinus (Physopsis) africanus, Kenya
Hôte intermédiaire de *Schistosoma Haematobium*.

Fig. 9. *Mollusque vecteur de la bilharziose.*

QUATRIÈME PARTIE

ÉCONOMIE RURALE

ÉCONOMIE RURALE

ÉLABORATION DE PROJETS

ÉLÉMENTS DE COMPTABILITÉ D'ENTREPRISES

APPLICATION DE LA STATISTIQUE EN AGRICULTURE TROPICALE

FORMULAIRES

CHAPITRE XXII

ÉCONOMIE RURALE

PLAN

I — DEFINITIONS DE BASE EN ECONOMIE RURALE TROPICALE

1. LE SYSTEME RURAL
1.1. Le terroir foncier
1.2. La cellule de base de production agricole
1.3. Les flux des produits vivriers et les échanges
1.4. Les modes d'exploitation
2. LES FACTEURS DE PRODUCTION
2.1. La terre
2.2. Le travail
2.3. Les investissements agricoles
3. LES SYSTEMES D'EXPLOITATION
3.1. Les systèmes techniques d'exploitation
3.2. Les productions et les productivités
3.3. Les principaux ratios d'analyse
4. L'ELEVAGE
4.1. Définitions de base
4.2. La production
5. LE COMPTE D'EXPLOITATION
5.1. Le produit brut d'exploitation
5.2. Les charges
5.3. Les résultats
5.4. Récapitulation schématique

II — OBSERVATION ET COLLECTE DES DONNEES

1. LE TERROIR
2. L'UNITE DE PRODUCTION FAMILIALE (UPF)
3. LES FACTEURS DE PRODUCTION
3.1. La terre
3.2. Le travail
3.3. Les moyens de production
4. LES PARAMETRES DE L'ELEVAGE
5. LES RESULTATS AGRONOMIQUES
6. LES RESULTATS ECONOMIQUES

I

DEFINITIONS DE BASE EN ECONOMIE RURALE TROPICALE

1. LE SYSTEME RURAL

1.1. Le terroir foncier

La terre « condition naturelle de production » est l'objet d'une maîtrise sociale.

Les formes spécifiques de cette maîtrise sociale peuvent être qualifiées de système foncier. Celui-ci définit dans un même temps, d'une part les relations que les hommes entretiennent avec la terre, d'autre part les relations qu'ils entretiennent entre eux à propos de l'objet de travail que constitue la terre.

Un système foncier d'une part institutionnalise des procédures « d'inclusion » et « d'exclusion » qui déterminent l'existence « d'ayants droit foncier » et de « non ayants droit », d'autre part il constitue tout un ensemble de pratiques qui réglemente l'accès à la terre ainsi que son utilisation et sa transmission.

En bref, un système foncier définit tout un ensemble de règles qui organisent les rapports à propos de la terre qu'entretiennent les ayants droit entre eux, et qu'ils peuvent opposer aux non ayants droit.

Pour comprendre le fonctionnement d'un système foncier, il est nécessaire de procéder à sa mise en relation avec le groupe auquel

il s'applique, examiner son mode d'organisation du travail, sa division en catégories sociales.

Un terroir foncier constitue l'expression spatiale de règles et pratiques foncières par lesquelles un groupe donné imprime sa maîtrise sociale sur son cadre écologique de vie.

Remarques concernant les Opérations de Développement Rural (ODR)

— L'espace rural est toujours approprié même si cela n'apparaît pas clairement. Les terroirs fonciers qui le composent permettent, aux communautés qui y résident, leur expansion mais aussi la reproduction élémentaire de leur système de production.

En ce sens, considérer que les terres non cultivées appartiennent à l'Etat, risque de compromettre gravement l'avenir des communautés qui en ont la maîtrise foncière.

— Si le champ d'une ODR est un terroir saturé, on peut considérer que c'est le facteur « terre » qui est limitant. Il faudra alors :

- privilégier le développement des cultures vivrières aux dépens des cultures de rente,
- favoriser l'introduction d'améliorations techniques tendant à l'augmentation de la productivité.

— Si le champ d'une ODR est un terroir qui n'est pas saturé, on peut penser que c'est la force de travail qui est le facteur limitant. L'augmentation de la productivité aura moins d'importance aux yeux des agriculteurs que l'augmentation des surfaces cultivées.

1.2. La cellule de base de production agricole

a) L'EXPLOITATION AGRICOLE

Il ne peut pas exister de définition précise et passe-partout de l'exploitation agricole. Chombart de Lauwe propose la définition suivante (1) :

« L'exploitation agricole est une unité économique dans laquelle l'agriculteur pratique un système de production en vue d'augmenter son profit. Le système de production est la combinaison des productions et des facteurs de production (terres, travail, capital d'exploitation) dans l'exploitation agricole ».

Cette définition est rarement applicable au milieu traditionnel africain, parce que la cellule de base de production est soit l'agriculteur lui-même, soit sa famille restreinte ou élargie. Les règles qui régissent l'utilisation d'une part des facteurs de production et d'autre part de la

---

(1) **Nouvelle gestion des exploitations agricoles,** Dunod (1963).

répartition et de l'utilisation du produit ne permettent pas de faire apparaître un profit au sens indiqué dans la définition précédente.

On utilise plus fréquemment en Afrique la notion d'Unité de Production Familiale.

b) L'UNITE DE PRODUCTION FAMILIALE (UPF)

« L'Unité de production familiale est l'agent de base du processus agricole de production.

Elle constitue l'unité familiale :

1. à l'intérieur de laquelle, de manière privilégiée, s'effectue la mise en œuvre des facteurs de production : terre, force de travail, moyens de travail ;

2. à partir de laquelle s'opère le processus d'utilisation et de circulation des produits obtenus » (1).

La maîtrise de cette UPF est détenue par le chef de l'UPF qui assure aussi généralement la maîtrise sur la mise en œuvre, des facteurs de production, de la production obtenue et de l'utilisation de cette production.

L'unité collective d'habitation (UCH) : c'est l'ensemble des maisons d'habitations, regroupées en une unité, dans lesquelles résident les membres d'une même famille.

L'unité collective d'habitation est généralement matérialisée par un enclos qui entoure les maisons d'habitation.

L'unité collective d'habitation peut être constituée de plus d'une UPF.

L'unité collective de consommation : c'est l'ensemble des personnes qui ont l'habitude de prendre en commun les repas préparés dans les mêmes cuisines.

L'unité collective budgétaire : c'est l'ensemble des personnes soumises, pour les principales dépenses, à un seul centre de décision.

1.3. Les flux des produits vivriers et les échanges

Le graphe présenté (2) sur la page suivante permet d'identifier les flux de produits (céréales) depuis la récolte jusqu'à la consommation

---

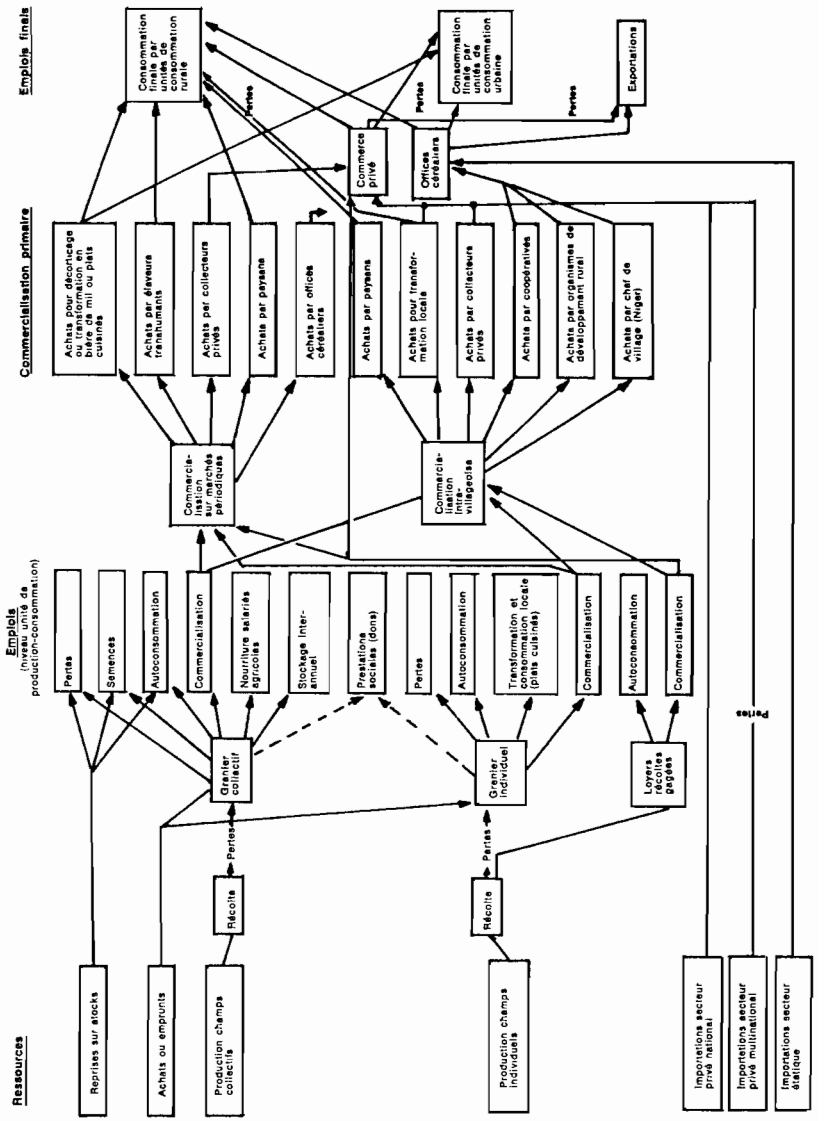
(1) **Guide des enquêtes statistiques pour le suivi des opérations de développement rural.** Ministère de la Coopération/SEDES (1981).

(2) « La commercialisation des céréales dans trois pays du Sahel : Haute-Volta, Mali, Niger ». **Etudes et documents** n° 41, Ministère de la Coopération, Paris, 1980.

finale dans la société Hausa du Niger. Il met en évidence la complexité de ces flux qui traduit :

— la complexité des rapports sociaux à l'intérieur de l'unité de production-consommation : présence simultanée, de flux relatifs aux activités collectives — importantes en quantité, destinées principalement à l'alimentation du groupe et peu à la commercialisation — et de flux relatifs aux activités individuelles — faibles en quantité, et destinés principalement à la commercialisation ;

— la complexité du processus de commercialisation des produits : par la multiplication des lieux de transaction primaire — marchés villageois, ou directement à partir des UPF — par le nombre des agents de la commercialisation (commerçants privés et Office céréalier) et enfin par la destination finale des produits.


Ressources
Emplois
(niveau unité de production-consommation)
Commercialisation primaire
Emplois finals
Reprises sur stocks
Achats ou emprunts
Production champs collectifs
Production champs individuels
Importations secteur privé national
Importations secteur privé multinational
Importations secteur étatique
Pertes
Semences
Autoconsommation
Commercialisation
Nourriture salariés agricoles
Stockage inter-annuel
Prestations sociales (dons)
Transformation et consommation locale (plats cuisinés)
Loyers fonciers payés
Grenier collectif
Grenier individuel
Récolte
Achats pour décorticage ou transformation en bière de mil ou plats cuisinés
Achats par éleveurs transhumants
Achats par collecteurs privés
Achats par paysans
Achats par officiels détaillants
Achats pour transformation locale
Achats par coopératives
Achats par organismes de développement rural
Achats par chef de village (Niger)
Commercialisation auprès marchés périodiques
Commercialisation intra-villageoise
Commerce privé
Offices céréaliers
Consommation finale par unités de consommation rurale
Consommation finale par unités de consommation urbaine
Exportations
RESSOURCES AU NIVEAU DES UNITES DE PRODUCTION-CONSOMMATION
RESSOURCES SUR IMPORTATIONS

1.4. Les modes d'exploitation

Le mode de faire valoir est la nature des liens contractuels qui existent entre le détenteur du droit d'usage sur une terre, et le détenteur de la maîtrise foncière sur cette terre.

Le terme de propriété, même si on lui ajoute les qualificatifs de privé, public ou collectif, se révèle inadapté pour rendre compte de la plupart des systèmes fonciers africains, à l'exception des cas rares où les poids de la monétarisation ont été si forts qu'ils sont parvenus à effacer les systèmes fonciers anciens. C'est pourquoi il semble préférable de lui substituer celui de « maîtrise foncière ».

— **Faire valoir direct**

Utilisation dans le processus de production des terres de l'UPF (ou d'une partie à préciser) directement par le détenteur de la maîtrise foncière sur cette terre, ou par les membres de son lignage.

— **Faire valoir indirect**

Utilisation de la terre par une personne ne détenant pas la maîtrise foncière sur cette terre.

L'emprunteur peut aussi bien être un « ayant droit foncier » n'ayant pas assez de terre à cultiver, qu'un « non ayant droit foncier ». Ces derniers, anciens esclaves ou étrangers à la communauté, sont souvent métayers de leur ancien maître ou de leur tuteur.

On peut citer les cas de faire valoir indirects suivants :

- Fermage : l'emprunteur cultive la terre moyennant une redevance fixe versée au détenteur de la maîtrise foncière ;
- Métayage : l'emprunteur cultive la terre moyennant une part de la récolte (cas de métayage « à moitié », du « colonnat au tiers » à la Réunion, du « Khammesat » aux 4/5 en Afrique du Nord, etc.).

Bien d'autres modes de faire valoir existent en Afrique. Pour ceux-là comme pour les trois cités ci-dessus, le fait essentiel est de dégager la rente de la terre, c'est-à-dire la charge que supporte l'agriculteur, et la contrainte sociale que représente la structure foncière.

2. LES FACTEURS DE PRODUCTION

2.1. La terre

2.1.1. SUPERFICIES

Les principales notions utilisées sont les suivantes :

— **Superficie agricole utile** (SAU) qui comprend l'ensemble des terres

potentiellement utilisables par l'agriculteur. Elle comprend donc les superficies en jachère et les superficies n'ayant pas encore été exploitées (à l'exclusion des réserves forestières classées et des parcs nationaux).

— **Superficie agricole totale** (SAT) qui comprend l'ensemble des terres utilisées, c'est-à-dire les superficies cultivées (en culture annuelle et en culture pérenne), plus les jachères.

— **Superficie cultivée dans l'année** (SCA)

C'est la somme des surfaces des parcelles portant soit une culture, soit un ensemble de cultures associées (cas le plus fréquent). Dans le cas de plusieurs cycles de culture dans l'année (riziculture irriguée par exemple), il convient de distinguer l'emprise réelle des parcelles et la superficie cultivée. Lorsqu'il s'agit d'une monoculture, la superficie cultivée correspond à l'emprise réelle multipliée par le nombre de cycle (un ha de rizière utilisé sur deux cycles est ainsi compté pour deux ha/an).

Superficie agricole et superficie cultivée annuellement peuvent être divisées en grandes catégories :

- Terre assolée : surface portant les cultures de plein champ et les jachères entrant en rotation.
- Plantations : surfaces couvertes de cultures pérennes hors rotation.
- Surfaces maraîchères et jardins : surfaces couvertes uniquement de cultures maraîchères.
- Jachères (ou terres) préparées : terres dont le défrichement ou un nettoyage de préparation de semis vient d'être fait.

— **Superficie récoltée** (SR)

Dans le cas des cultures pérennes (palmier, café), les statistiques agricoles mentionnent systématiquement les superficies plantées qui comprennent les parcelles non encore productives et les superficies récoltées.

Dans le cas des cultures annuelles associées, un hectare de culture associée est compté autant de fois qu'il comporte de cultures.

Les recensements agricoles introduisent parfois la notion de superficie récoltée qui correspond à la superficie réelle récoltée multipliée par le coefficient réducteur : densité observée sur densité normale en culture pure.

2.1.2. PARCELLES, CHAMPS

On distinguera : (1)

— Parcelles : portion de terrain cultivé consacrée à une seule

(1) Définitions généralement admises par les principaux organismes de développement français et internationaux, à l'exception toutefois de la F.A.O.

production, ou à une association de productions, pendant l'année agricole.

— Champs : portion de terrain comprenant une ou plusieurs parcelles, entourée de terres non cultivées, de limites naturelles ou de terres cultivées dans le cadre d'une autre unité de production.

Les champs indiquent donc le morcellement de l'exploitation. Les parcelles indiquent la dimension des unités de surfaces travaillées.

Cette **dimension** des champs et des parcelles est le plus souvent liée à la culture et aux méthodes de travail.

La **forme** des champs et des parcelles est très importante à étudier car elle peut empêcher des améliorations techniques ou expliquer les méthodes pratiquées.

2.1.3. L'OCCUPATION DES TERRES DE L'EXPLOITATION

Rotation : succession des cultures sur un même champ, la rotation s'étend donc dans le temps.

Assolement : répartition des cultures en rotation sur l'exploitation pour une campagne agricole donnée. L'assolement se rapporte à des portions de la superficie cultivée dans l'année (SCA) appelées soles. Il y a autant de soles que de cultures annuelles assolées.

Cultures associées : cultures effectuées en même temps, sur le même terrain mais semées et récoltées séparément :

Exemple : maïs + arachide
maïs + sorgho + arachide,

le plus souvent en mélange pied à pied.

Culture intercalaire : culture associée où l'association est faite ligne par ligne.

Exemple : caféiers + cultures vivrières.

Cultures successives : cultures faites à la suite sur le même champ au cours de la même campagne agricole de telle sorte que l'une ne soit mise en place que lorsque l'autre a été récoltée.

Jachère

La durée de la jachère est un élément important du système d'exploitation. Elle peut varier dans de grandes proportions en fonction de nombreux facteurs : densité démographique, types de cultures, nature des terroirs (savane, zone forestière), richesse des sols.

Dans les systèmes stabilisés à durée de jachère assez courte (5 à 6 ans en zone forestière dense), l'importance de cette jachère peut être estimée à environ trois fois la superficie cultivée (en cultures annuelles uniquement).

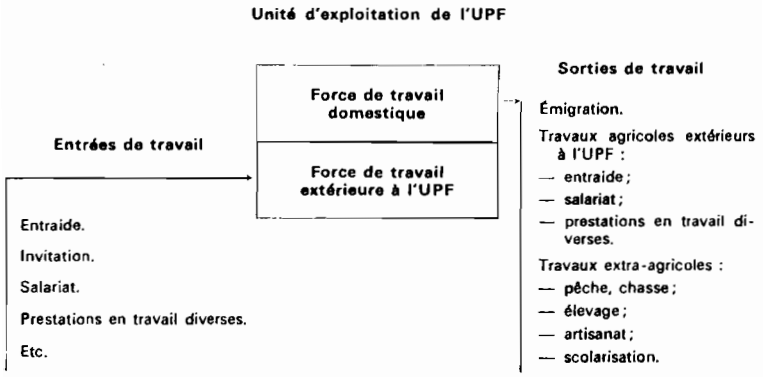
Exemple d'analyse de surface d'exploitation (en zone forestière)

Superficie en cultures vivrières associées (2 cultures)	: 3 ha
Plantations café et cacao	: 4 ha
dont récoltées	: 2 ha
Superficie cultivée dans l'année (SCA = 3 + 4)	: 7 ha
Superficie récoltée (SR = 3 × 2 + 2)	: 8 ha
Jachère (3 × 3)	: 9 ha
Superficie agricole totale (SAT = 7 + 9)	: 16 ha
Réserve forestière disponible	: 10 ha
Superficie agricole utile (SAU = 16 + 10)	: 26 ha

2.2. Le travail

La force de travail de l'UPF se décompose en : d'une part, force de travail domestique (celle des membres de l'UPF), d'autre part, force de travail extérieure à l'unité de production, mais venant s'investir sur les parcelles mises en culture par les membres de l'UPF. Par ailleurs, il faut noter que la force domestique de travail n'investit pas nécessairement tous ses efforts dans l'agriculture (activités extra-agricoles) ni même sur les champs de l'UPF (activités agricoles extérieures à l'UPF, émigration saisonnière).

Cette situation peut être schématisée comme suit :



2.2.1. LES TRAVAILLEURS ET LES ACTIFS AGRICOLES

Parmi ces travailleurs, il convient de distinguer le chef de l'UPF, les membres de l'UPF et les membres extérieurs à l'UPF (en particulier, manœuvres permanents, manœuvres temporaires).

En Europe, ces travailleurs sont représentés par des unités :

— Unité travailleur agricole annuel (U.T.A.).

Capacité de travail que représente l'emploi d'un homme adulte et valide pendant 300 journées de travail agricole par an.

En milieu tropical, l'emploi d'un homme adulte et valide est le plus souvent très inférieur à 300 journées de travail, soit parce qu'il est sous-employé, soit parce que la durée de l'année agricole ne le permet pas, soit encore parce qu'il doit se consacrer à de nombreuses activités extra-agricoles (traditionnelles, commerciales, artisanales, etc.).

La notion la plus couramment employée en milieu tropical est celle d'**actif agricole** qui correspond théoriquement sur l'UPF à l'homme adulte valide (âge de 15 à 55 ans en général). Cette notion devra systématiquement être précisée pour chaque région étudiée.

La force de travail des femmes et des enfants est souvent calculée, à défaut d'analyses spécifiques, en appliquant les coefficients d'équivalence suivants :

1 homme adulte	: 1 actif agricole
1 femme adulte	: 0,7 actif agricole
1 enfant, 1 vieillard	: 0,5 actif agricole

Mais ces normes sont théoriques et doivent être révisées en fonction des caractéristiques du milieu étudié : dans certaines régions en effet, les femmes et les enfants ont seuls la charge des travaux agricoles.

Il faut noter également que le travail des hommes, des femmes et des enfants est le plus souvent spécialisé ; il en découle que les disponibilités correspondantes ne peuvent être affectées qu'à certains types de travaux.

2.2.2. LES TEMPS DE TRAVAUX

L'unité généralement utilisée est :

— Journée de travail humain (JT)

Journée (préciser la durée moyenne) effectivement consacrée à un travail agricole par un actif agricole.

— Temps de travail en JT

Temps consacré aux diverses phases et à l'ensemble des travaux agricoles, soit, cas le plus fréquent, pour une culture donnée, soit, pour la totalité des cultures de l'UPF.

Ce temps de travail peut être appliqué soit à l'hectare, soit à la totalité de l'UPF.

Exemple d'analyse :

		U P F	
	JT/ha	Sup.	JT
Cultures vivrières		3 ha	
Défrichement	100	1,5 ha	150
Travaux culturaux	80	3 ha	240
Récolte	20	3 ha	60
Total JT sur cultures vivrières			450
Plantations pérennes (ex. : café)			
Défrichement	100	1 ha	100
Entretien	30	4 ha	120
Récolte	50	2 ha	100
Total JT sur café			320
Total JT sur exploitation			770

Cette présentation est très simplifiée et il est important dans l'analyse de cas concrets de faire ressortir **les périodes de pointe.**

La détermination des pointes de travail nécessite de faire la somme des temps de travaux requis par le système de production considéré, par période. Le choix de celle-ci dépend de la précision recherchée, et de la précision des données. La période mensuelle risque de dissimuler des pointes de travail. La décade est plus satisfaisante lorsque les données de base sont suffisantes et il est à noter qu'elle est également considérée comme sûre pour l'étude du bilan hydrique souvent utile à rapprocher du calendrier agricole. Dans d'autres cas la quinzaine peut apporter une précision satisfaisante. Dans tous les cas il sera très utile d'établir un graphique qui fera ressortir les caractéristiques de besoin en travail du système de production

Une analyse du même type doit être faite pour les besoins en traction : motorisation (les temps seront alors exprimés en heures) ou culture attelée (les temps peuvent être exprimés en journées d'attelage).

2.3. Les investissements agricoles

Le capital d'exploitation dans sa définition classique comprend les facteurs de production de l'UPF, autres que la terre (capital foncier) et le travail humain. Citons :

— le cheptel vif : bétail de trait et de rente, animaux de basse-cour (cf. chapitre : Elevage) ;

— le cheptel mort : matériel de traction, de transport, de culture, installations fixes ;

— les stocks de produits achetés (engrais, semences...) ;

— les stocks de produits récoltés ;

— les produits achetés et mis en terre (avances aux cultures) ;

— les disponibilités en espèces destinées à l'exploitation ;

— les créances et frais payés d'avance.

Cette définition peut convenir en milieu tropical pour les exploitations modernes ; elle est par contre inadaptée aux UPF « traditionnelles ».

Pour les systèmes d'exploitation intéressant les cultures annuelles, l'investissement correspond principalement au défrichement des parcelles (manuel ou mécanique). En culture manuelle, son coût est le produit du nombre de JT nécessaires par la valeur de la JT (il peut s'agir d'un coût fictif ou d'une dépense monétaire réelle, selon que le travail est confié ou non à de la main-d'œuvre salariée extérieure à la famille).

Ce coût est à amortir en fonction de la durée de rotation. En ce qui concerne les cultures pérennes, on admet que la période d'investissement se prolonge jusqu'à l'entrée en production des plantations (3 ans au moins pour une caféière) ; les diverses charges enregistrées pendant cette période (entretien, intrants, divers) sont considérées comme un coût d'investissement. Ce coût doit être amorti sur la durée de vie de la plantation.

En cultures irriguées, l'aménagement hydro-agricole constitue le facteur principal de l'investissement.

3. LES SYSTEMES D'EXPLOITATION

3.1. Les systèmes techniques d'exploitation

Ils sont caractérisés par les technologies utilisées et les types de travaux effectués. On distingue ainsi couramment culture manuelle (à la houe, daba), culture attelée et culture motorisée ; en fait les opérations de développement aboutissent souvent à des solutions mixtes combinant le recours à plusieurs technologies (par exemple : labour en culture attelée ou au tracteur, entretien et récolte manuels).

Si certaines cultures relèvent *a priori* soit de la culture sèche, soit de la culture irriguée, d'autres sont redevables de solutions alternatives ayant chacune leurs avantages et leurs inconvénients (riziculture irriguée ou en culture sèche).

Enfin, il est souvent opposé système intensif et système extensif (en agriculture comme en élevage).

Si l'emploi d'engrais est l'un des éléments les plus significatifs de la culture intensive pour les cultures annuelles, ce n'est pas toujours le cas pour des cultures pérennes où l'intensité peut se traduire par l'emploi de matériel végétal sélectionné performant et par le respect de normes culturales strictes (densité, entretien, traitement).

3.2. Les productions et les productivités

3.2.1. LES RENDEMENTS

Les rendements physiques sont les quantités récoltées par unité de surface. La présentation du produit (grain, épi, vert, sec, etc.) doit être précisée. Dans les cas fréquents où la détermination de la surface est difficile, on peut rapporter les quantités récoltées aux quantités de semences ou au nombre de pieds.

Enfin dans les cas de cultures associées, on s'efforcera de donner les rendements moyens des principales cultures par grands types d'associations.

Pour ce qui concerne les cultures pérennes, il convient de prendre en compte la chronologie des rendements qui varient avec l'âge de la plantation.

3.2.2. LES PRODUCTIONS

La détermination des productions globales est aisée lorsque celles-ci sont entièrement commercialisées (café, cacao, coton).

Pour les produits vivriers, le problème est autrement complexe, car on se heurte à la méconnaissance d'une part, des quantités commercialisées par les circuits traditionnels, d'autre part des quantités autoconsommées. Le problème des pertes, en général très mal saisi, est également important.

Les notions suivantes sont couramment employées :

— Production disponible = production brute — semences — pertes à la production (transport primaire, stockage).

— Production commercialisable = production disponible — autoconsommation.

Le calcul du revenu monétaire des paysans ne doit évidemment prendre en compte que les quantités effectivement commercialisées.

Compte tenu de la difficulté d'appréhender les productions brutes, les chiffres fournis par les statistiques agricoles sont sujets à caution et doivent être utilisés avec prudence.

Les enquêtes budget-consommation et celles portant sur les flux de transport peuvent donner des informations intéressantes permettant de faire des recoupements.

La détermination de bilans alimentaires surtout quand elle s'appuie sur des enquêtes de structures de consommation (milieu urbain, milieu rural) constitue également un moyen de recoupement intéressant.

Les prévisions de production

Les prévisions doivent s'effectuer pour les produits vivriers en relation étroite avec les évolutions démographiques tant du milieu urbain (évolution de la demande) que du milieu rural (évolution de l'offre). Ce sont en effet dans les systèmes de production peu évolutifs, les éléments déterminants de la dynamique de la production agricole. L'analyse régionale et par grandes zones écologiques est à cet égard indispensable.

Les prévisions de production pour les cultures pérennes s'appuient en général sur les pyramides d'âge des plantations (saisies à un moment donné par les recensements agricoles et estimées ensuite à partir d'éléments structurels et des informations des structures d'encadrement).

On applique alors aux superficies de chaque classe d'âge un rendement moyen (en différenciant quand c'est possible, plantations extensives et plantations « améliorées »).

3.2.3. LES PRODUCTIVITES

On distingue en général plusieurs types de productivités selon les facteurs de production considérés.

La productivité du matériel végétal peut, dans un système de production donné, varier dans de fortes proportions suivant que l'on utilise des plants et semences « traditionnels » ou sélectionnés.

La productivité de la terre pour un matériel végétal donné est fonction de la fumure et de la protection phytosanitaire, ainsi que des façons culturales (préparation des terres, taille et entretien) et du respect du calendrier cultural.

La productivité du travail humain mesure les résultats obtenus dans les divers systèmes techniques d'exploitation.

Pour les cultures annuelles, elle est multipliée lorsque l'on passe du stade culture manuelle au stade culture attelée ; le gain est nettement plus important lorsque l'on passe au stade culture motorisée. Il est à noter par contre que le passage du système extensif au système intensif en agriculture pérenne est à cet égard beaucoup moins avantageux, l'augmentation des rendements impliquant généralement l'augmentation des journées de travail nécessaires.

Dans la réalité, toute opération de développement s'efforce d'améliorer ces diverses composantes de la productivité en jouant sur les différents facteurs d'ailleurs interdépendants. (Un matériel végétal sélectionné ne peut souvent imprimer toutes ses potentialités que si les façons culturales sont elles-mêmes améliorées).

3.3. Les principaux ratios d'analyse

Les systèmes d'exploitation et les caractéristiques des unités d'exploitation sont extrêmement divers et doivent faire l'obet d'une attention particulière dans le cadre des projets de développement.

Il est recommandé d'utiliser un certain nombre de ratios qui constituent des indicateurs significatifs (de situation et éventuellement d'objectifs).

Citons-en quelques-uns :

- **Démographie** : par région $\frac{\text{actifs agricoles}}{\text{population rurale (ou agricole)}}$

  par UPF $\frac{\text{actifs agricoles}}{\text{membres de l'UPF}}$

- **Structure d'exploitation**

  Superficie consacrée aux produits vivriers par UPF, par actif agricole, par membre de l'unité de production familiale.
  Superficie consacrée aux cultures de rente (idem).

- **Force de travail**

  JT consacrées aux produits vivriers par UPF, par actif agricole, par hectare.
  JT consacrées aux cultures de rente (idem).

- **Revenus**

  Revenu monétaire sur produits vivriers commercialisés par UPF, par actif.
  Revenu monétaire sur cultures de rente par UPF, par actif.
  Revenu monétaire total par UPF, par actif.
  Valeur de l'auto-consommation par UPF, par actif.
  Revenu total par UPF, par actif.

4. L'ELEVAGE

4.1. Définitions de base

— U.G.B. ou Unité Gros Bétail.

En exploitation européenne, la comparaison du cheptel de trait ou de rente est facilitée par l'emploi d'une unité de valeur constante, l'unité gros bétail avec deux sens bien distincts :

- l'U.G.B. pondérale, est équivalente à un bœuf ou une vache sèche de 500 kg de poids vif ;
- l'U.G.B. nutritionnelle, correspond à 3 000 U.F. de besoin ou d'apport énergétique (une vache de 600 kg produisant 3 000 kg de lait en 12 mois a un besoin énergétique de 1 U.G.B.).

— U.B.T. ou Unité Bovin Tropical.

En Afrique tropicale, les bovins adultes pesant généralement entre 250 et 350 kg vif, on a choisi, pour des commodités de calcul de charge de pâturages, un animal de référence de 250 kg ayant achevé sa croissance, correspondant à peu près à une demi-unité gros bétail (ou U.G.B.) des pays tempérés. Cet animal de référence est appelé unité bovin tropical ou U.B.T. (Boudet et Rivière - I.E.M.V.T.).

— U ♀ ou Unité Femelle est l'image de la structure du troupeau rapportée à une reproductrice.

4.2. La production

4.2.1. PRODUCTION DU CHEPTEL VIF

On distingue habituellement, en Afrique tropicale, deux types d'élevage, étroitement liés aux conditions écologiques :

— l'élevage extensif, nomade ou transhumant, dans les zones sahéliennes et sahélo-soudaniennes ;

— l'élevage sédentaire, dans les zones soudaniennes et guinéennes.

Les productions qui s'y rattachent sont :

— production de lait (bovins, ovins, caprins, camelins) : le lait est principalement autoconsommé, assez souvent troqué, quelquefois commercialisé à proximité des centres urbains ;

— production de viande (bovins, ovins, caprins, camelins) : autoconsommée ou commercialisée, quelquefois troquée ;

— production de travail : animaux de bât ou exhaure de l'eau en zone sahélienne, traction animale et culture attelée dans certaines zones d'élevage sédentaire ;

— production de fumier dans certaines zones agricoles.

Parmi les autres productions utilisées, on peut citer la production de laine (mouton du Macina), de poils (chèvre Mohair de Madagascar), de peaux (chèvre rousse de Maradi), de cuir, etc.

4.2.2. EVALUATION DE LA PRODUCTION DE VIANDE

La production de viande peut être appréhendée d'une part indirectement, grâce à la confrontation de plusieurs sources d'informations : enquête commercialisation du bétail et de la viande, enquête nutritionnelle, enquête budget consommation et d'autre part, grâce aux enquêtes structure et dynamique du troupeau.

Les opérations de synthèse entre ces sources diverses ne sont réalisables qu'à l'échelon régional, national ou de groupe de pays. Il importe donc dans cette optique de mettre en forme les données obtenues sur des troupeaux individuels par élimination des échanges inter-régionaux pour obtenir des données applicables au troupeau régional.

Les habitudes alimentaires en Afrique obligent à distinguer deux types d'exploitation au sein d'un même troupeau :

— l'exploitation zootechnique comporte tous les animaux vivants définitivement sortis du troupeau durant la période de référence ;

— l'exploitation socio-économique ajoute à l'exploitation zootechnique les animaux morts consommés.

Les caractéristiques de production qui permettent l'évaluation de la productivité d'un troupeau sont :

— le taux d'exploitation : nombre d'animaux prélevés dans l'année rapporté à l'effectif moyen du troupeau ;

— le croît brut : augmentation relative de l'effectif d'un troupeau d'une année avec l'autre ;

— le croît réel : augmentation relative de l'effectif des reproductrices d'un troupeau d'une année sur l'autre ;

— le rendement : somme du taux d'exploitation et du croît brut ;

— la productivité pondérale : nombre de kilogrammes de viande carcasses produites annuellement par tête entretenue dans le troupeau.

4.2.3. DEMOGRAPHIE ANIMALE

La connaissance de la dynamique de l'évolution des troupeaux répond à plusieurs types de préoccupations :

— comparaison des performances entre des troupeaux conduits différemment dans un même milieu afin d'apprécier l'impact des techniques mises en œuvre ;

— connaissance de la production passée ;

— projection de l'évolution des effectifs et de leur production.

Cette connaissance s'appuie sur des enregistrements dont les modalités procèdent d'un compromis entre les contraintes qui président à l'obtention du renseignement (1) et la nécessité de disposer de données.

Pratiquement, à une date donnée, on observe une structure du troupeau par sexe et par classe d'âge qui résume l'action des divers facteurs : climatiques, pathologiques et zootechniques. Ces derniers se résument en :

— fécondité par classe d'âge (1) ;

— mortalité par sexe et classe d'âge ;

---

(1) Voir II : L'observation et la collecte des données

— exploitation par sexe et classe d'âge ;
— introductions par sexe et classe d'âge.

Sur la base des renseignements précédents, on peut élaborer des paramètres sous forme de probabilités simples compatibles avec les modèles de dynamique des populations animales. Le choix entre les divers modèles disponibles s'effectue en fonction de l'adéquation entre le degré de finesse du modèle et de celui des renseignements collectés ainsi que de leur degré de fiabilité.

5. LE COMPTE D'EXPLOITATION

5.1. Le produit brut d'exploitation

Il correspond à la valeur de la production brute agricole au cours de l'exercice annuel estimée aux prix du marché.

Il comprend :

— la valeur des productions commercialisées ;
— la valeur des productions autoconsommées ;
— la variation des stocks en valeur (éventuellement) ;
— les semences et les pertes.

Le produit brut monétaire correspond à la valeur des productions commercialisées (plus ou moins la variation des stocks). Si cette valeur est en général constamment connue en ce qui concerne les cultures industrielles et d'exportation, elle ne peut en général qu'être estimée dans le cas des produits vivriers cédés au système de commercialisation traditionnel.

5.2. Les charges

La distinction entre charges proportionnelles et charges de structure est peu opérationnelle en ce qui concerne les UPF relevant du système traditionnel. Elle apparaît par contre fréquemment dans les comptes d'exploitation des organismes de développement (charges de structure du siège et dépenses de fonctionnement des échelons de terrain).

Les principaux postes pris en compte sont les suivants :

Consommations intermédiaires

Semences, engrais, produits de traitement, petits matériels.

Ces charges sont toutes proportionnelles et sont en général connues à l'hectare (puis rapportées à l'UPF).

Les salaires

Ce poste constitue une charge d'exploitation bien qu'étant une composante importante de la valeur ajoutée.

Dans la pratique, le problème se pose cependant différemment ; les consommations intermédiaires (à l'hectare), le plus souvent contrôlées

par les structures d'encadrement, sont connues et uniformisées pour une culture et un système d'exploitation donnés. L'organisation du travail varie, par contre, énormément d'une UPF à l'autre. Il en résulte que le poste salaires n'est en général pas isolé et fait partie intégrante de la marge brute.

5.3. Les résultats

5.3.1. LA MARGE BRUTE

C'est la différence entre le produit brut (moins les pertes) et les consommations intermédiaires : elle correspond à la valeur ajoutée. La valorisation (brute) de la journée de travail (JT) est le quotient de cette marge brute par le nombre de JT affectées à l'obtention des productions considérées. Si cette valeur de la JT constitue un critère intéressant de comparaison entre UPF ou entre spéculations, elle ne donne aucune indication ni sur les revenus monétaires ni sur la répartition du revenu entre les membres de l'UPF (y compris les manœuvres permanents et temporaires).

Aussi est-il souhaitable, quand c'est possible, de décomposer cette marge brute de la façon suivante :

— marge nette non monétaire (auto-consommation et salaires en nature) ;
— salaires monétaires ;
— marge nette monétaire.

5.3.2. LA MARGE NETTE MONETAIRE ET LE REVENU AGRICOLE

La marge nette monétaire dégagée par l'activité portant sur les productions commercialisées doit être imputée des dépenses monétaires effectuées dans le cadre des autres productions (cf. Infra tableau récapitulatif), pour obtenir le « Résultat brut monétaire de l'exploitation ».

Ce résultat brut regroupe les éléments suivants :

— amortissement ;
— intérêts des emprunts (et frais financiers éventuellement) ;
— résultat net monétaire de l'exploitation.

L'amortissement peut s'appliquer à un investissement monétaire : attelage, matériels divers, travaux à façon (défrichement, travaux de génie rural), mais également à un investissement non monétaire réalisé par les membres de l'UPF (par exemple : création et entretien d'une plantation avant entrée en production) ; il correspond dans ce dernier cas à un salaire différé.

Le revenu agricole monétaire correspond *stricto sensu* à : résultat net monétaire — annuités de remboursement des emprunts.

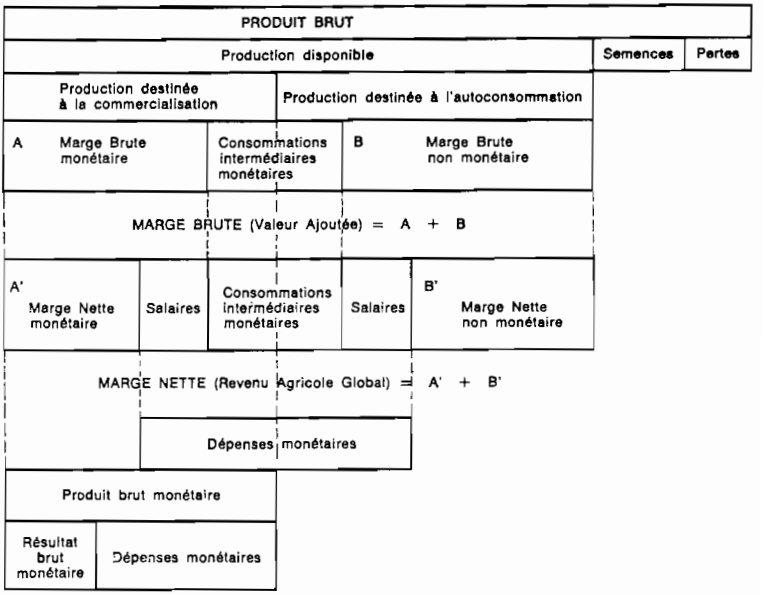
La notion de *cash flow* également utilisée correspond à : revenu agricole monétaire + amortissement.

ou : résultat brut monétaire — annuités et intérêts des emprunts.

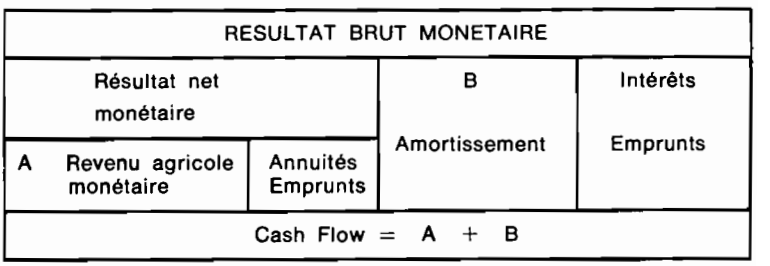
Dans le cas de l'agriculture paysannale traditionnelle, le revenu agricole monétaire se confond souvent avec le **cash flow** et le résultat brut monétaire (pas d'emprunt, notion d'amortissement insaisissable ou peu opérationnelle).

5.4. Récapitulation schématique

— La décomposition du produit brut.



— La décomposition du résultat brut monétaire



EXEMPLE DE COMPTE PREVISIONNEL D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION (MONETAIRE) POUR UNE CULTURE PERENNE

(Par hectare)	Phase d'investissement				Phase d'exploitation					Observations
	N — 1	N° (*)	N + 1	N + 2	N + 3	N + 4	N + 5	N + 6	N + 7 et suivantes	
Rendement (en kg)	—	—	—	—	×	×	×	×	×	(*) : N° année de plantation
Prix unitaire (en F/kg)	—	—	—	—	×	×	×	×	×	
A - Produit brut/ha	—	—	—	—	×	×	×	×	×	
Investissements	×	×	×	×	—	—	× (**)	—	× (**)	(**) : renouvellement
B - Charges d'exploitation (hors taxes)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
- dont Produits (semences, engrais, traitements, carburant, etc).										
- » Travaux à façon										
- » Divers										
C - Marge brute (A — B)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
Nombre de JT	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
Valorisation JT	—	—	—	—	×	×	×	×	×	
D - Salaires (éventuellement) (***)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	(***) : besoin de trésorerie pendant la phase d'investissement
E - Marge nette (C — D)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
F - Remboursement capital et intérêts emprunts	—	—	—	—	×	×	×	×	×	
H - Cash Flow (E — F)	—	—	—	—	×	×	×	×	×	
I - Amortissement	—	—	—	—	×	×	×	×	×	
J - Revenu agricole monétaire (H — I)					×	×	×	×	×	

II

L'OBSERVATION ET LA COLLECTE DES DONNEES EN AGRONOMIE TROPICALE

Ce chapitre est consacré à la collecte des principales données nécessaires à la connaissance de l'organisation de la production agricole en Afrique. Les notions de terroir, unité de production, facteurs de production seront successivement abordés et leur étude devra résulter d'un premier stade d'enquêtes préliminaires à caractère semi-directif, d'un deuxième stade d'élaboration de fiche d'enquêtes et enfin du test de l'adaptation de ces fiches au milieu à enquêter.

Les fiches d'enquêtes présentées ci-dessous ne sont pas rigoureusement complètes ; elles présentent néanmoins une certaine souplesse d'utilisation (1).

Les utilisateurs devront, dans presque tous les cas, les adapter, les compléter ou les simplifier, d'une part en fonction du but recherché (enquête, suivi ou évaluation d'opération de Développement Rural) et d'autre part, compte tenu des spécificités du milieu considéré. Elles devront toutefois être suffisamment simples pour être facilement utilisées par les enquêteurs ou encadreurs, et si possible traduites en langue vernaculaire.

Il est nécessaire, avant de remplir chacune des fiches, de veiller à rappeler à chaque fois les caractéristiques de l'enquête, de l'enquêteur et de l'enquêté :

— date de l'enquête,

— nom de l'enquêteur et sa signature.

— nom de la région,

— nom du village enquêté,

— numéro d'ordre de l'UPF enquêtée.

Sur chacune des fiches utilisées, les enquêteurs devront rapporter toutes les explications et remarques qui leur sont fournies par les enquêtés. Ainsi, il est nécessaire de toujours prévoir, sur ces fiches d'enquête, une large colonne d'« observations » à cet usage.

1. LE TERROIR

La connaissance précise du terroir villageois est utile dans le cas de l'élaboration d'une carte d'occupation du sol d'une zone, et indis-

(1) **Guide des enquêtes statistiques pour le suivi des opérations de développement rural.** Ministère de la Coopération/SEDES, Paris 1981.

pensable quand il s'agit, dans le cas d'un aménagement de type hydro-agricole par exemple, d'établir un lotissement de la zone à aménager.

Sa délimitation est effectuée sur le terrain, en compagnie du dépositaire de la maîtrise foncière (chef de terre, chef de village) ou de l'un de ses représentants. Les limites ainsi reconnues doivent être reportées, avec autant de précision qu'il est possible, sur un fond de carte ou une photo aérienne récente à grande échelle (1/5 000).

Dans le cas où ce terroir est fractionné en plusieurs blocs, leurs limites devront être reproduites sur le fond de carte. De tels blocs peuvent correspondre au découpage du village ou quartiers, mais aussi à une différenciation des sols du terroir en fonction de leur fertilité, de leur texture (sols lourds, sols légers), ou de leur utilisation (cultures annuelles, cultures pérennes), etc.

2. L'UNITE DE PRODUCTION FAMILIALE (UPF)

La détermination de l'UPF n'est pas toujours évidente dans la mesure où ses limites ne sont, dans la plupart des cas, pas directement apparentes sur le terrain.

C'est l'Unité Collective d'Habitation (UCH) qui sert de point de départ à cette recherche : ses limites sont généralement clairement apparentes (mur d'enceinte, clôture végétale, orientation des maisons d'habitation, etc.). Il n'existe pas de fiche type à utiliser pour appréhender la ou les UPF se trouvant dans cette UCH. La démarche, par des entretiens de type semi-directif, consistera à : (1)

1. Recenser les personnes résidant dans cette UCH, en prenant soin de bien noter le lien de parenté qui les unit au chef de l'UCH (et avec les chefs de ménage s'il y a lieu). **FICHE A.**

2. Rechercher, en questionnant le chef de l'UCH, pour chacune des fonctions ci-dessous, qui exerce l'autorité et quels sont ses dépendants :

   — mise en œuvre des différents facteurs de production : la terre, la force de travail, les moyens de travail ;

   — le stockage des produits, par unité de stockage (greniers) ;

   — la consommation des produits, par unité de consommation (cuisines, feux).

3. Le ou les centres de décision plurifonctionnels mis en évidence par cette démarche indiquent le ou les chefs d'UPF résidant dans l'UCH.

---

(1) Ibid.

Tableau permettant d'illustrer de manière schématique les approches proposées analytique/synthétique d'identification des UPF

Approche synthétique	Détermination du centre de décision unifonctionnel	Détermination des dépendants par fonction
Mise en œuvre domestique de la terre	Responsable	Dépendants
Mise en œuvre domestique de la forme de travail	Responsable	Dépendants
Mise en œuvre domestique des moyens de production	Responsable	Dépendants
Mise en œuvre domestique de la production obtenue, utilisation/circulation	Responsable	Dépendants

Approche analytique	Détermination du centre de décision plurifonctionnel	Détermination des relations globales de dépendances
Analyse toutes fonctions réunies	Chef d'UPF	Membres de l'UPF

Cette procédure nous fournit une représentation de l'UPF identifiée comme cadre domestique de dépendance plurifonctionnelle, unissant des dépendants — les membres de l'UPF — à un centre de décision plurifonctionnel — le chef d'UPF.

Il arrive fréquemment que, parallèlement aux activités dont l'exercice relève de l'autorité directe du chef de l'UPF, il en existe d'autres qui doivent être rattachées à des individus appartenant à l'UPF. Coexistent alors, au sein d'une même UPF, un centre de décision collectif — le chef de l'UPF — et des centres de décision individuels. L'autonomie individuelle qui résulte de ces derniers est analysée aux plans suivants : mise en œuvre de la terre, de la force de travail et des moyens de production, résultats agronomiques de la mise en œuvre des facteurs de production, importance des activités extra-agricoles.

Pour complexes que soient les formes d'organisation toujours spécifiques auxquelles obéissent les UPF, elles permettent toujours de distinguer un ou deux critères discriminants qui permettent très rapidement aux enquêteurs de ventiler les résidents enquêtés selon leur UPF.

3. LES FACTEURS DE PRODUCTION

3.1. La terre

C'est le chef de l'UPF qui exerce la maîtrise foncière collective sur les terres cultivées par les membres de l'UPF ; c'est à lui que l'enquêteur devra d'abord s'intéresser, avant de se tourner vers les éventuels centres de décision individuels.

3.1.1. LES FICHES D'ENQUETE

— **FICHE C** : INVENTAIRE DES CHAMPS APPARTENANT A L'UPF (ou à l'un quelconque de ses membres) et qui sont mis en culture par l'UPF ou laissés en jachère.

- Lorsque dans un champ, on peut distinguer plusieurs parcelles, les numéroter les unes à la suite des autres au regard du numéro d'ordre du champ dont elles font partie.
- Noter la spéculation principale pratiquée, et s'il y a lieu, la culture à laquelle elle est associée.

— **FICHE D** : INVENTAIRE DES CHAMPS N'APPARTENANT PAS A L'UPF (ou à un de ses membres) mais qui sont mis en culture par des membres de l'UPF.

- Statut du titulaire de la maîtrise sur la parcelle : noter si le prêteur est une société de développement, un commerçant, un chef d'UPF, etc.
- Mode d'obtention temporaire : indiquer s'il s'agit d'un emprunt à titre gratuit, un emprunt contre redevance en travail (combien) ou/et en nature (combien), une location en espèces (combien).

3.1.2. LES MESURES DE SUPERFICIES

a) **Méthodes empiriques**

— Mesure de la superficie d'un champ ou d'une parcelle : on estime la forme du champ ou de la parcelle, de façon à la rapprocher de celle d'un parallélogramme simple (carré, rectangle, trapèze) dont on calcule la superficie après avoir mesuré les longueurs utiles.

— Mesure de la superficie ensemencée : on cherche tout d'abord à déterminer, pour la culture considérée, la quantité moyenne de semence utilisée à l'hectare dans la région. En admettant que cette dose moyenne de semence est bien appliquée par tous les cultivateurs de la région, il suffit de demander à chacun la quantité totale de semence utilisée pour en déduire la superficie ensemencée.

— Enregistrement du nombre de pieds : cette méthode convient pour les plantations : on évalue la densité moyenne de plantation

généralement appliquée dans la région (nombre de pieds à l'hectare) et on demande aux cultivateurs concernés le nombre total de pieds se trouvant sur leur propre champ.

Ces méthodes empiriques ne sont valables que dans certaines conditions et il est nécessaire de comparer au préalable leurs résultats avec des méthodes plus élaborées et appliquées sur un échantillon restreint.

b) **Méthodes élaborées** (voir chapitres VI et VII)

— Méthode des coordonnées rectangulaires : elle consiste à faire le tour du champ ou de la parcelle à mesurer en relevant, d'une part à chaque angle la direction du sommet suivant et d'autre part, la longueur du côté qui les sépare. Ces données sont reportées sur une fiche d'enquête **(FICHE E).**

Le matériel nécessaire à l'enquête consiste en une boussole de visée, une chaîne d'arpenteur, et un clisimètre si le relief de la région est prononcé.

La méthode nécessite la présence de deux personnes : l'enquêteur et un assistant porte-mire.

— Méthode des coordonnées polaires : elle consiste à déterminer à partir d'un des sommets du champ, la position des autres sommets. On vise successivement les (n-1) sommets du champ et on mesure les rayons-vecteurs ainsi déterminés. Ces données sont immédiatement reportées sur une fiche d'enquête du même type que la **FICHE E.**

Cette méthode nécessite également la présence de deux hommes et le même matériel que dans le cas précédent.

— Utilisation des photographies aériennes : un planimétrage donne la mesure des superficies cultivées. Mais la couverture aérienne doit être récente et au 1/10 000 au maximum.

REMARQUES :

- La méthode des coordonnées rectangulaires est la plus pratique : elle évite de pénétrer à l'intérieur de la parcelle. Elle est par ailleurs parfaitement fiable si elle est utilisée avec soin ;
- la méthode des coordonnées polaires implique, d'une part, la nécessité de pénétrer à l'intérieur de la parcelle, et d'autre part, que les cultures qui s'y trouvent ne soient pas plus hautes que la taille d'un homme ;
- le choix de l'une des deux méthodes par coordonnées implique la restitution des données relevées sur un croquis à l'échelle de la parcelle. La mesure du croquis permet de déterminer la taille de la parcelle ;
- la méthode des photographies aériennes est la seule qui n'oblige pas à une présence sur le terrain : elle nécessite néanmoins l'uti-

lisation de photos aériennes récentes et de grande échelle, et d'un orthophotoplan.

3.2. Le travail

3.2.1. LA FORCE DE TRAVAIL

Les questionnaires proposés pour enquêter sur la force de travail et sa mise en œuvre doivent porter sur les principaux points suivants :

— **la mise en œuvre de la force de travail effectuée à l'intérieur de l'UPF,** c'est-à-dire s'investissant sur les parcelles qu'elle met en culture ;

— **la mise en œuvre de la force de travail domestique :** celle des membres de l'UPF. Les données suivantes doivent être appréhendées :

- la division du travail agricole entre hommes, femmes, enfants ;
- l'organisation du travail : réglementation de la participation aux travaux agricoles des membres de l'UPF ;
- la division du travail entre activités agricoles et activités non agricoles au sein de l'UPF ;

— **le recours de l'UPF à des prestations externes en travail,** c'est-à-dire effectuées par des non-membres de l'UPF :

- inventaire des modes de recours habituels ;
- relation par rapport à l'opération culturale et au calendrier des travaux ;
- nature (et importance) de la contrepartie fournie ;

— **la mise en œuvre de la force de travail domestique à l'extérieur de l'UPF :** engagement des membres de l'UPF dans des activités sortant du cadre agricole de celle-ci. Prendre en considération :

a) la division du travail entre activités agricoles et activités extra-agricoles : nature et importance de ces activités extra-agricoles (artisanat, commerce, etc.) ;

b) les travaux agricoles effectués en dehors du cadre de l'UPF :

- importance au sein de l'UPF
- catégorie sociale impliquée
- cadre de l'intervention (recours à d'autres UPF)
- durée et période
- rapport retiré de l'intervention ;

c) les phénomènes d'émigration :

- importance au sein de l'UPF
- catégorie sociale impliquée

- durée et période
- rapport de l'opération

3.2.2. LE TRAVAIL AGRICOLE

Les modèles de fiches ci-après n'ont pour but que de donner un cadre de référence facilement adaptable à chaque cas.

Pour les remplir, il est conseillé de respecter les points suivants :

— bien préciser les conditions locales de travail et de collecte des données ;

— indiquer les unités et conventions adoptées pour faciliter les comparaisons avec d'autres sources ;

— lier étroitement le calendrier, le temps consacré à chaque opération, et la personne qui l'effectue.

— **FICHE F** : FICHE DE TRAVAUX AGRICOLES PAR PARCELLE

Remarques :

— unité de temps adoptée : signaler l'unité choisie (heure ou jour) pour l'évaluation de la présence au champ ;

— travail manuel : distinguer les différents types d'opérations selon les gestes et les outils utilisés (les préciser) ; indiquer les personnes effectuant les travaux afin de pouvoir reconstituer l'emploi de chacun ;

— travail à l'attelage ou au tracteur : préciser la nature de l'attelage (ex. : deux zébus, un âne) ; la puissance à la barre du tracteur et le modèle du matériel tracté ; il peut être utile d'exprimer le temps de travail motorisé en heures ;

— ne pas oublier d'indiquer le travail manuel correspondant à l'emploi de l'attelage ou au fonctionnement du tracteur ;

— indiquer également les intrants utilisés (semences traitées, engrais, fumier, nombre et nature des traitements phytosanitaires, etc.), et les quantités correspondantes.

A partir de cette fiche F, peuvent être dressées diverses fiches récapitulatives selon les critères de priorité retenus : temps de travaux par opération culturale ou par culture, travail externe, importance des moyens de production, etc.

— **FICHE G** : FICHE INDIVIDUELLE D'OCCUPATION

Elle permet de suivre les activités de chaque membre de l'UPF.

Comme pour la fiche précédente, on peut dresser à partir de la fiche G diverses fiches récapitulatives.

3.3. Les moyens de production

— **FICHE H** : INVENTAIRE ET APPROPRIATION DES MOYENS DE PRODUCTION DE L'UPF

Les renseignements recueillis par l'intermédiaire de ce questionnaire permettent dans le cas d'une évaluation *ex-ante* d'une ODR de connaître le degré d'équipement de la zone, et l'origine des flux locaux concernant ce type de matériel. Ils permettent également une comparaison entre les UPF au regard des moyens de production effectivement utilisables.

Le petit matériel agricole (houe manuelle, machette, hache, etc.) n'est pas concerné par cette fiche (cf. FICHE F).

— **FICHE I** : MISE EN ŒUVRE DES MOYENS DE PRODUCTION PAR PARCELLE

On peut élaborer une fiche supplémentaire pour tenir compte de l'utilisation des moyens de production de l'UPF à l'extérieur de celle-ci. Une telle fiche doit permettre de prendre connaissance de :

— la durée du prêt (en journée),

— les modalités du prêt (gratuit ou avec contrepartie en nature, en travail, en espèce, etc.),

— le statut du bénéficiaire du prêt (proche parenté, voisins, etc.).

4. LES PARAMETRES DE L'ELEVAGE

La collecte des informations doit être adaptée à la fréquence des enregistrements, à l'activité de la personne collectant les données et au milieu où s'effectue l'enquête.

Selon la périodicité, on peut distinguer les enregistrements :

— continus : effectués par le gardien des animaux ou un accompagnateur de celui-ci. Les conditions d'une telle saisie sont rarement réunies : l'éleveur doit être lettré et capable de respecter une nomenclature nécessaire à la comparaison des résultats ;

— périodiques : peuvent être confiés à des personnes entrant régulièrement en contact avec le troupeau et ouvrant la possibilité de comparaison dans le temps ;

— irréguliers : permettant des photographies de la production à un moment donné.

Les personnes collectant les données sont dans l'idéal les éleveurs, ce qui n'est qu'exceptionnellement possible en Afrique où on recourt à des agents spécialisés enquêteurs. Ces derniers présentent l'avantage d'être entièrement disponibles pour les tâches de renseignements

mais sont souvent moins bien introduits que les agents des services de santé animale et d'encadrement. Les coûts d'enquête sont plus élevés dans le recours à des enquêteurs spécialisés que dans le cas de la collecte d'information lors des passages de techniciens de l'élevage. Toutefois, dans le souci de ne pas altérer la qualité de leur travail technique, il convient de limiter le nombre des informations collectées.

L'élaboration des questionnnaires nécessite donc de connaître les conditions de l'enquête et les interlocuteurs recontrés lors de ce travail. Ainsi, la présence d'une personne connaissant parfaitement le troupeau permet d'obtenir des renseignements sur la carrière des reproductrices, l'âge des animaux qui pourra être porté directement sur le questionnaire. Dans le cas contraire, on renoncera aux carrières des reproductrices et on ne mentionnera pas de classes d'âge mais des classes basées sur la table dentaire (les correspondances étant établies ultérieurement).

La connaissance des phénomènes de la reproduction n'est pratiquement appréhendable que dans le cadre de troupeaux très suivis comme ceux des stations pratiquant la monte contrôlée et divers tests de laboratoire. En milieux pastoral et villageois, les phénomènes de la reproduction ne peuvent être appréhendés que par le dénombrement des produits nés-vivants.

Les paramètres zootechniques sont calculés soit en taux si l'effectif moyen est porté en dénominateur, soit en quotient si l'effectif en début de cycle est porté en dénominateur.

Les comptages sont effectués annuellement lors des vaccinations, soit juste après la saison des mises bas : on peut assimiler la pyramide obtenue à une pyramide de début de cycle. Il est donc plus aisé, tant pour le dépouillement et les comparaisons que pour les modélisations, de calculer les ratios sous formes de quotient (1).

Les quotients à déterminer seront :

— le quotient de mortalité,

— le quotient d'exploitation,

— le quotient de fécondité.

A — **Quotient de mortalité**

Le quotient de mortalité des animaux d'un sexe et d'une classe d'âge donnés est égal au rapport du nombre des morts naturelles des animaux du sexe et de la classe d'âge sur l'effectif des animaux

---

(1) Le quotient est indépendant des autres variables contrairement au taux. Un taux de mortalité dépend en effet de la variable de mortalité et de la variable d'exploitation dont résulte l'effectif moyen.

de ce sexe et de cette classe d'âge, au début de la période d'enregistrement :

$$Qm\ SI = \frac{Nbm}{SDI}$$

Qm SI = Quotient de mortalité des animaux de sexe S et de classe 1 (1)

Nbm = Nombre d'animaux de sexe S de la classe I morts naturellement

SDI = Effectif des animaux de classe I et de sexe S en début d'année.

B — **Quotient d'exploitation**

Le quotient d'exploitation numérique des animaux d'un sexe et d'une classe d'âge donnés est égal au rapport du nombre d'animaux de ce sexe et de la classe d'âge retirés définitivement du troupeau, à l'exclusion des morts naturelles, sur l'effectif des animaux de ce sexe et de cette classe d'âge au début de la période d'enregistrement.

$$Qe\ SI = \frac{Nbe}{SDI}$$

Qe SI = Quotient d'exploitation des animaux de classe I et de sexe S

Nbe = Nombre d'animaux exploités

SDI = Effectif des animaux de classe I et de sexe S en début d'année.

C — **Quotient de fécondité**

La probabilité pour qu'une femelle d'une classe d'âge donnée en année n, mette au monde un produit vivant l'année suivante (n + 1) est exprimée par le quotient de fécondité.

Cette façon d'enregistrer les naissances est imposée par les possibilités techniques d'enquête même si les zootechniciens présentent parfois des ratios décrivant de façon précise les phénomènes physiologiques qui président à la multiplication des espèces :

$$\text{Quotient de saillie} = \frac{\text{Nombre de femelles saillies}}{\text{Nombre de femelles mises à la saillie}}$$

$$\text{Quotient de fécondation} = \frac{\text{Nombre de femelles fécondées}}{\text{Nombre de femelles saillies}}$$

(1) Animaux âgés de (I — 1) à 1 ans.

$$\text{Quotient de mise bas} = \frac{\text{Nombre d'avortements}}{\text{Nombre de femelles fécondées}}$$

$$\text{Quotient de mortinatalité} = \frac{\text{Nombre de produits nés morts}}{\text{Nombre de mises bas}}$$

$$\text{Quotient de natalité} = \frac{\text{Nombre de produits nés vivants}}{\text{Nombre de femelles mises à la saillie}}$$

Ces divers quotients ne peuvent être appréhendés, pour la plupart, qu'en station, grâce à la mise en œuvre de techniques sophistiquées qui limitent nécessairement la taille de l'échantillon.

Le quotient de fécondité est donc seul compatible avec les conditions d'enquête en milieu paysannal ou pastoral.

FICHE J — STRUCTURE DU TROUPEAU
FICHE K — STRUCTURE DU TROUPEAU (plus détaillée que la fiche J)
FICHE L — CARRIERE DES VACHES
FICHE M — DEVENIR DE LA DESCENDANCE
FICHE N — SORTIES DU TROUPEAU

5. LES RESULTATS AGRONOMIQUES

5.1. Les fiches d'enquêtes et de suivi

Il est utile de prévoir un modèle de fiche sur laquelle peuvent être portés tous les principaux renseignements relatifs à chacune des parcelles de l'UPF étudiée, au cours de la saison culturale considérée :

— l'identifiant de la parcelle,
— ses caractéristiques physiques propres,
— les principales observations agronomiques effectuées,
— les principaux travaux culturaux effectués dans la saison,
— les intrants agricoles appliqués,
— les résultats agronomiques obtenus.

Le regroupement au niveau des différents centres de maîtrise foncière coexistant dans l'UPF permet d'appréhender les résultats obtenus au niveau de ces centres (**FICHE O**).

5.2. Les mesures de densité et de rendement des cultures

5.2.1. LA MESURE DE LA DENSITE : elle est importante dans le cas des cultures asscciées.

La mesure se fait sur un échantillon sur lequel on procède aux observations, cet échantillon de taille variable est, soit une ou plusieurs lignes de culture, soit une surface (carré) selon le type de cultures recouvrant la parcelle. L'échantillon est choisi au hasard et par la méthode des nombres aléatoires : un premier nombre aléatoire indique le lieu de pénétration dans la parcelle, un second permet de positionner l'échantillon à l'intérieur de la parcelle.

Les comptages et observations sont faits sur l'échantillon ainsi déterminé et reprcduits immédiatement sur une fiche d'enquête. Les résultats sont extrapolés à la parcelle entière ou à l'unité de surface (ha) selon le cas.

Le seul matériel utilisé est un décamètre servant à mesurer la taille de l'échantillon.

5.2.2. LA MESURE DES RENDEMENTS

— Enquête par sondage dans les récoltes sur pied

La méthode des carrés de prélèvements-échantillons est précise à condition d'être bien menée. La base de sondage doit être bien connue. Les prélèvements sont effectués au même stade de végétation, et leur poids est corrigé par un coefficient si les mesures sont faites avant la maturité complète.

Les observations et les résultats de la prise de l'échantillon sont inscrits sur une fiche :

- date de récolte,
- nombre de pieds, plants ou touffes déjà récoltés auparavant,
- nombre de poquets, pieds ou touffes, le nombre d'épis récoltés,
- le poids net de l'échantillon après déduction du poids des sacs vides, au champ puis au centre, à périodes déterminées.

La technique utilisée est la même que pour mesurer la densité.

Le matériel, se compose d'une balance (ou peson), de sacs en toile, de ficelle et d'étiquettes.

— Mesures après récolte

- volume stocké dans les greniers (déduire éventuellement les stocks de la campagne précédente) ;

- comptage du poids moyen récolté par pied et du nombre de pieds (méthode utilisable pour le coton, le maïs, les plantations). Le poids moyen est déterminé sur quelques pieds ;
- volume des récoltes transportées : nombre de sacs ou de paniers ; il faut peser quelques exemplaires de ces récipients pour évaluer leur poids moyen.

6. LES RESULTATS ECONOMIQUES

On les fait figurer dans une **FICHE Q** : FICHE D'EXPLOITATION ANNUELLE. « Exploitation » doit être prise ici au sens large et se rapporte à chaque centre de décision de l'UPF. Qu'ils soient collectifs ou individuels, tous les centres de décision recensés dans l'UPF devront donc être l'objet de l'élaboration d'une fiche d'exploitation.

FICHE A :

RECENSEMENT DANS L'UNITE COLLECTIVE D'HABITATION

Village ..... UPF n° .....

Numéro d'ordre	Nom	Sexe	Age	Lien de parenté	Situation matrimoniale
1					

FICHE B :

MODES D'OBTENTION DES CHAMPS DE L'UPF

Modes d'obtention	Numéros d'ordre des champs										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Année d'obtention											
Familiaux											
1											
2											
3											
Extra-familiaux											
1											
2											
3											
Superficies											

FICHE C :

RECENSEMENT DES CHAMPS APPARTENANT A L'UPF MIS EN CULTURE PAR L'UPF OU EN JACHERE

N° d'ordre du champ	N° d'ordre de la parcelle	Superficie	N° d'ordre de l'attributaire (*)	Spéculation	Observations
1	1				
.....	2				
.....					
.....					

(*) Correspond avec le n° d'ordre déterminé dans la FICHE A.

FICHE D :

INVENTAIRE DES PARCELLES N'APPARTENANT PAS A L'UPF MAIS CULTIVEES PAR DES MEMBRES DE L'UPF

Statut du titulaire de la maîtrise	N° d'ordre de la parcelle cultivée	Superficie	N° d'ordre de l'attributaire	Spéculation	Mode d'obtention temporaire	Observations

FICHE E :

MESURE DE PARCELLE

Identifiant : Village n° UPF n° Champ n°
Parcelle n°

Distance en temps de marche du domicile à la parcelle :
Nature du sol :
Pente du terrain :
Mesure :

Côté	Visée (angle)	Longueur	Longueur cumulée

Année de culture :

= périmètre

Cultures :
Culture principale : Responsable :
Cultures générales : Responsable :
Cultures en tâche ou partielles : Responsable :
Culture de bordure : Responsable :

Après dépouillement : superficie de la parcelle :

FICHE F : FICHE DE TRAVAUX AGRICOLES PAR PARCELLE

Village

UPF n° | Surface du champ : | Nom de l'enquêteur :

Champ n° | ou de la culture : | période d'enquête :

Parcelle n° | **Culture :**

Date	Opération culturale	Temps de travail						Moyens de production									Observations
		Main-d'œuvre interne		Main-d'œuvre externe				Attelage mécanisation : N° d'ordre	Travail interne		Travail externe				Outils utilisés	Facteurs de production utilisés	
		N° d'ordre du participant	Durée de l'opération	N° d'ordre du participant	Durée de l'opération	Mode de recours	Contrepartie fournie		Attelage (durée)	Mécanisation (durée)	Attelage (durée)	Mécanisation (durée)	Mode de recours	Contrepartie fournie			

Observations :

— Opération culturale : défrichement, billonnage, semis, sarclage, ..., coupe des tiges, coupe des épis, transport au grenier, battage, stockage.

— Mode de recours à la M.O. externe : entraide, invitation, salariat, prestations en travail diverses, etc.

— Contrepartie (quantité) : travail, prêt d'un champ, rémunération en nature (produit), en espèces, offre de nourriture et de boisson, etc.

— N° d'ordre : ● main-d'œuvre interne : se référer à la nomenclature définie sur la FICHE A.
● main-d'œuvre externe : faire une liste des participants en indiquant leur sexe et leur âge.

— Facteurs de production : intrants utilisés (nature et quantité).

FICHE G : FICHE INDIVIDUELLE D'OCCUPATION

Village | **Nom** | **Nom de l'enquêteur**

UPF n° | **N° d'ordre** | **Période d'enquête**

Date	Travaux agricoles domestiques							Travaux domestiques non agricoles			Travaux agricoles hors UPF					Observations
	Champ n°	Parcelle n°	Culture (1)	Opération culturale	Nature du travail effectué	Outil utilisé	Durée du travail	Activité (2)	Durée	Rapport	Nature de l'intervention (3)	Travail effectué	Nature des liens avec le bénéficiaire (4)	Durée	Contrepartie reçue (5)	

Observations :

(1) Cultures principales et associées.

(2) Pêche, chasse, artisanat, commerce, etc.

(3) Entraide, invitation, salariat, prestation en travail divers.

(4) Proche parenté, parenté élargie, voisins, autres.

(5) Nature et quantité (travail, prêt d'un champ, rémunération en nature, en espèces, offre de nourriture ou de boisson, etc.).

FICHE H : INVENTAIRE ET APPROPRIATION DES MOYENS DE PRODUCTION DE L'UPF

Village

Nom de l'enquêteur

Date

UPF N°	Equipement Agricole						Moyens de traction						Observations
	N° d'ordre du propriétaire	Matériel (1)	N° d'ordre de chaque matériel (2)	Origine du matériel (3)	Date d'acquisition	Conditions d'acquisition (4)	N° d'ordre du propriétaire	Unités de traction (5)	N° d'ordre de chaque unité de traction (2)	Origine (3)	Date d'acquisition	Conditions d'acquisition (4)	

Observations :

(1) Faire la liste du matériel attelé ou mécanisé.

(2) Affecter un n° d'ordre à chaque unité de matériel ou de traction.

(3) Commerçant, institution de développement, autre agriculteur, etc.

(4) A crédit, au comptant, autre. Montant et conditions de la transaction.

(5) Liste des unités de traction attelée ou mécanisée.

FICHE I : MISE EN ŒUVRE DES MOYENS DE PRODUCTION PAR PARCELLE

Village de

UPF n° Culture

Champ n° Nom de l'enquêteur

Parcelle n° Date

N° d'ordre de l'attributaire de la parcelle

Opération culturale effectué (et période) (2) Travail	Moyens de production appartenant à l'UPF						Moyens de production empruntés par l'UPF					
	Matériel			Unités de traction			Matériel			Unités de traction		
	Désignation du matériel	N° d'ordre du matériel (1)	Nbre de journées d'utilisation	Désignation	N° d'ordre de l'unité de traction (1)	Nbre de journées d'utilisation	Désignation du matériel	N° d'ordre du matériel	Nbre de journées d'utilisation	Désignation	N° d'ordre de l'unité de traction	Nbre de journées d'utilisation

Observations :

(1) Matériels et unités de traction de l'UPF sont numérotés selon la FICHE H.

(2) Indiquer également la période d'utilisation des moyens de production.

FICHE J : STRUCTURE DU TROUPEAU

1 - Date :

2 - Nom de l'agent : 5 - Arrondissement :

3 - Centre de vaccination : 6 - Département :

4 - Poste vétérinaire : 7 - Troupeau N° :

---

8 - Nom du responsable du troupeau :

9 - Ethnie : 10 - Tribu : 11 - Lieu de recensement :

---

12 - Type de troupeau :

13 - Race dominante du troupeau :

14 - ANIMAUX VACCINES :

Age	Femelles	MALES			TOTAL Mâles + Femelles
		Entiers	Castrés	Total	
0 - 1					
1 - 2					
2 - 3					
Adultes					
TOTAL					

15 - Animaux qui n'ont pas pu être vaccinés ou amenés :

— Velles : — Taurillons :

— Génisses : — Bouvillons :

— Vaches : — Taureaux :

— Veaux : — Bœufs :

---

16 - Observations :

FICHE K : STRUCTURE DU TROUPEAU

1 - Enquêteur :

2 - Date : 5 - Strate : 8 - Espèce :

3 - Contrôle : 6 - Canton : 9 - Troupeau n° :

4 - Date : 7 - Village : 10 - Code :

11 - Race dominante du troupeau : 12 - Race du (ou des) reproducteur(s) :

Tranches d'âge (an) ou table dentaire (13)	FEMELLES				MALES					Tranches d'âge (an) ou table dentaire (23)
	Nées dans le troupeau (14)	Achetées (15)	Autre origine (16)	Total (17)	Nés dans le troupeau (18)	Achetés (19)	Autre origine (20)	Total (21)	Mâles castrés (22)	
0- 1										0- 1
1- 2										1- 2
2- 3										2- 3
3- 4										3- 4
4- 5										4- 5
5- 6										5- 6
6- 7										6- 7
7- 8										7- 8
8- 9										8- 9
9-10										9-10
10-11										10-11
11-12										11-12
12-13										12-13
13-14										13-14
14-15										14-15
15-16										15-16
16 et +										16 et +
Total										Total

Colonne (17) = (14) + (15) + (16) Colonne (21) = (18) + (19) + (20)

FICHE L : CARRIERE DES VACHES

1 - Enquêteur :
2 - Date :
3 - Contrôleur :
4 - Date :

5 - Strate :
6 - Canton :
7 - Village :
8 - Troupeau n°

9 - Nom et identification de la vache : .....
10 - Vache n°
11 - Race de la vache : .....
12 - Age actuel
13 - Origine de la vache :
— née dans le troupeau
— achetée
— autre origine
14 - Age au moment de l'entrée dans le troupeau

Age de la vache (15)	Naissances		Avortements et morts-nés (18)	Rien (19)
	Sexe (16)	n° (17)		
2- 3				
3- 4				
4- 5				
5- 6				
6- 7				
7- 8				
8- 9				
9-10				
10-11				
11-12				
12-13				
13-14				
14 et plus				

20 - Nombre total de produits mâles

21 - Nombre total de produits femelles

22 - Nombre total de produits (20) + (21) =

23 - Observations

FICHE M : DEVENIR DE LA DESCENDANCE

1 - Enquêteur :
2 - Date :
3 - Contrôleur :
4 - Date :
5 - Strate :
6 - Canton :
7 - Village :
8 - Troupeau n°
9 - Vache n°

N° du produit (10)	Sexe (11)	Encore dans le troupeau (12)	Age (13)	Mortalité		Abattage		Vente (18)	Perte ou vol (19)	Donné en héritage ou cadeau ou échange (20)	Donné en pension (21)	Culture attelée (22)	Autre (23)
				Consommé (14)	Non consommé (15)	Malade (16)	Non malade (17)						
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													

24 - Nombre total de produits mâles
25 - Nombre total de produits femelles
26 - Nombre total de produits

27 - Observations :
(Prix de vente)

FICHE N : SORTIES DU TROUPEAU

1 - Département :
2 - Arrondissement :
3 - Canton :
4 - Enquêteur :
5 - Responsable du troupeau :
6 - Mois 198
7 - Village/ Campement :
8 - Troupeau N°

N°	Sexe (9)	Age (ans) (10)	Mortalité		Abattage		Vente sur pied		Perte ou vol (17)	Donné héritage, cadeau, échange (18)	Donné en pension (19)	Culture attelée (20)	Autres sorties (21)
			Consommé (11)	Non Consommé 12	Malade (13)	Non malade (14)	Destinataire (15)	Prix (16)					
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													

22 - Nombre de mâles retirés du troupeau (M + C)
23 - Nombre de femelles retirées du troupeau (F)
24 - Nombre total de bovins (24) = (22) + (23)
29 - Effectif du troupeau

Observations :

FICHE O : FICHE DE SUIVI DE CULTURE

- Date :
- Nom de l'enquêteur :

IDENTIFICATION :

- Village de :
- UPF n° :
- Champ n° :
- Parcelle n° :
- Nom de l'attributaire :
- N° d'ordre de l'attributaire :

CARACTERISTIQUES DE LA PARCELLE

- Distance du domicile à la parcelle :
- Nature (type) du sol :
- Pente du terrain :
- Surface de la parcelle :
- Pluviométrie de la zone :

SAISON CULTURALE 19..

	Culture 1	Culture 2	Culture 3	Culture 4	Culture 5
Cultures pratiquées :					
Surface cultivée :					

- **Précédents culturaux :** Culture 1
  2
  3
  . .

- **Préparation du sol :**
  — Type de travail :
  — Moyens de travail :
  — Date(s) :

- **Semis**

	Culture 1	Culture 2	Culture 3	Culture 4	Culture 5
— Dates :					
— Densité de semis : - Nbre moyen de pieds/ha - Nbre moyen de plants/pied					
— Semences utilisées					
— Traitement des semences - produit - quantité					

- **Fertilisation**

— Fumier :

- quantité épandue dans l'année :
- date d'épandage :
- Quantité épandue les années précédentes : 19.. :
  19.. :

— Autre fumure organique :

— Fumure minérale :

	Type	d'engrais	Date d'épandage	Quantité	Culture
1					
2					
3					
..					

- **Entretien des cultures**

	Culture 1	Culture 2	Culture 3	Culture 4	Culture 5
— Démariage : - outil - date					
— Sarclages : - outil - date					
1					
2					
3					
..					
— Désherbage chimique : - produit					
1					
2					
3					
— Autres					

● **Traitements phytosanitaires**

Nombre de traitements	Culture	Prédateur	Nom du produit	Date de traitement	Quantité
1					
2					
3					
..					

● **Irrigations**

Nombre d'irrigations	Culture	Date d'irrigation	Durée	Mode d'irrigation
1				
2				
3				
..				

● **Récolte**

	Culture 1	Culture 2	Culture 3	Culture 4	Culture 5
— Surface récoltée :					
— Date des passages 1					
2					
3					
— Quantité récoltée					
— Quantité récoltée/pied					
— « « /plant					
— « « /ha					

● **Opérations finales**

— transport au grenier : date

— battage : date de début

— stockage : date

FICHE P :

FICHE DE RESULTATS ECONOMIQUES DE LA PARCELLE

CHARGES PROPORTIONNELLES	Quantité	Prix unitaire	Valeur
• Semences • Fumure organique • Fumure minérale • Traitements phytosanitaires • Irrigation • Autres			
I - Total des approvisionnements	X	X	
II - Rémunération du travail externe — manuel — tracté			
III - Total charges proportionnelles	X	X	
PRODUCTIONS Productions récoltées 1 2 3 .. Productions disponibles (pertes déduites) 1 2 3 ..			
IV - Total production disponible	X	X	
RESULTATS Marge brute (IV — I) Marge nette (IV — III)	X		

FICHE Q :

FICHE D'EXPLOITATION ANNUELLE SIMPLIFIEE
(EXPLOITATION DE TYPE TRADITIONNEL)

I — DEMOGRAPHIE ET FORCE DE TRAVAIL POTENTIELLE

	Travailleurs	Coefficient d'activité	Actifs agricoles	Durée potentielle du travail	Force travail potentielle (en Jt)
Hommes adultes Femmes Enfants Vieillards					
			Total JT Potentielles :		

II — OCCUPATION DU SOL - SUPERFICIES

(en Ha)	Cultures annuelles		Cultures pérennes		Total	
	Vivriers	Cult. de Rente	Plantées	Récoltées	SCA	SR
Total						

Jachère
SAT

III — PRODUCTIONS (en volume et en valeur)

	Ha	Rendement	Production	Quantité commercialisée	Prix unitaire	Produit brut total	Produit brut monétaire
a) Cultures vivrières b) Cultures industrielles et d'export.							
					Total		

IV — FORCE DE TRAVAIL UTILISEE

	Ha	JT/ha	Total JT	Produit brut	Marge brute (*)	Produit brut /JT	Valorisation JT
a) Cultures vivrières b) Cultures industrielles et d'export.							
TOTAL							

(*) Marge brute = Produit brut — Consommations intermédiaires.

V — COMPTE D'EXPLOITATION RESUMEE

	Cultures vivrières	Cult. Indust. et d'Export.	Ensemble
A. Produit brut — Autoconsommation — Semences et pertes B. Produit brut monétaire C. Charges monétaires D. Consommations intermédiaires E. Autres charges F. Amortissement			
Marge brute (valeur ajoutée) B — D **Cash Flow** B — D — E **Revenu agricole** B — C			

CHAPITRE XXIII

ÉLABORATION DES PROJETS

PLAN

I — DEFINITION D'UN PROJET - TYPES D'ANALYSES

1. Les différentes catégories de projets de développement rural
2. Les types d'analyses

II — EVALUATION

1. L'identification
2. Le cadre d'élaboration
   - 2.1. La structure des objectifs et moyens d'un projet
   - 2.2. L'analyse fonctionnelle
3. L'évaluation économique et financière
   - 3.1. L'évaluation financière
   - 3.2. L'évaluation économique

III — PLAN INDICATIF D'UNE ETUDE DE FACTIBILITE

I

DEFINITION D'UN PROJET
TYPES D'ANALYSES

1. LES DIFFERENTES CATEGORIES DE PROJETS DE DEVELOPPEMENT RURAL

Deux catégories de projets peuvent être envisagées en agriculture tropicale.

La première concerne les projets dits « industriels » qui se traduisent par la mise en place de plantations conduites en régie avec utilisation de main-d'œuvre salariée qui, dans la plupart des cas, intègrent une transformation de la production (Ex. : palmier à huile, canne à sucre, hévéa).

La deuxième concerne les projets dits de « développement rural » qui se traduisent le plus souvent par la mise en place d'un dispositif d'encadrement pour assurer la vulgarisation agricole et dont l'objet principal est la transformation du monde rural. Ces projets peuvent être :

— sectoriels lorsqu'ils visent à promouvoir le développement d'une spéculation agricole ou d'une activité ;

— pluri-sectoriels lorsqu'ils visent à promouvoir le développement de plusieurs spéculations ou activités ;

— intégrés lorsqu'ils visent une transformation d'ensemble du milieu rural concerné.

2. LES TYPES D'ANALYSES

Un ensemble de termes est couramment utilisé pour désigner les types d'analyses de projet.

Le tableau suivant permet de situer les terminologies anglo-saxonne et française utilisées pour définir les types d'analyses.

CORRESPONDANCE ENTRE LES DIFFERENTES TERMINOLOGIES

Terminologie anglo-saxonne	Contenu	Terminologie française
Ex-ante Evaluation	Analyses antérieures de plus en plus précises au fur et à mesure que l'on s'achemine vers la décision de mise en œuvre du projet.	Etudes — identification — avant projet ou pré-factibilité — factibilité — projet d'exécution
Appraisal	Jugements aboutissant à l'acceptation du projet.	Appréciation examen préalable
Implementation	Mise en place des équipements et des procédures de fonctionnement, constitution des équipes.	Mise en œuvre
Monitoring	Contrôle des activités des différents services. Contrôle des procédures liant le projet à son environnement immédiat. Prévision à court terme des principales variables du projet et incidence sur les réalisations.	Gestion du quotidien Suivi de la conjoncture } Suivi
On-going evaluation	Indicateurs de réalisation. Indicateurs de réalisation par rapport à l'ensemble du champ réalisable. Indicateurs sur les conséquences directes ou diffuses du projet.	Efficacité Mesure des effets } Evaluation permanente
Ex-post Evaluation	Efficience, Effets } pendant le projet à la fin des grandes phases Efficience, Effets } après le projet	Evaluation a posteriori sens strict) Evaluation ex-post } Evaluation a posteriori (sens large)

Source : Evaluation du développement rural — Société d'étude pour le développement économique et social, Ministère des relations extérieures — Coopération et Développement.

II

EVALUATION D'UN PROJET

1. L'IDENTIFICATION

Le processus va de la recherche d'une idée intéressante pour le développement jusqu'au choix d'un projet précis.

Ce travail nécessite un certain nombre de phases successives préparatoires et analytiques. Il est pluri-disciplinaire et doit comporter, dès le début un volet économique.

Cette phase aboutit à l'établissement de termes de références qui vont permettre les travaux d'appréciation.

2. LE CADRE D'ELABORATION

2.1. La structure des objectifs et moyens d'un projet

Un projet est un ensemble organisé et structuré d'objectifs et de moyens. Il définit un ensemble d'axes opératoires, d'objectifs chiffrés à atteindre, de moyens chiffrés à mettre en œuvre, qu'il convient d'exprimer de manière cohérente, c'est-à-dire en reliant de façon formelle les causes aux effets, les objectifs aux moyens correspondants. Un des instruments pour y parvenir est d'établir un classement en hiérarchisant les différents objectifs et moyens à l'intérieur d'un graphe d'objectifs, permettant ainsi d'avoir au départ une idée précise des contraintes, compte tenu de l'environnement du projet.

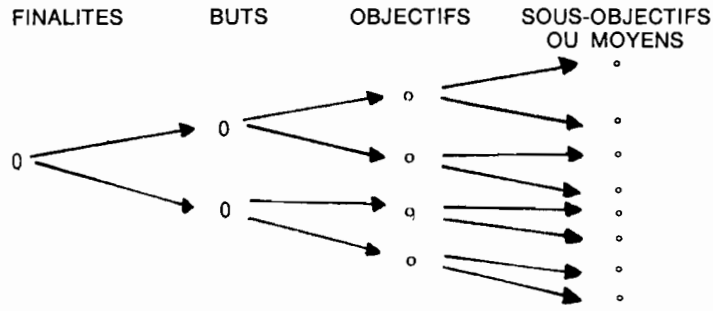
Les objectifs fondamentaux ou finalités sont issus de l'environnement du projet et trouvent généralement leur origine dans le Plan ou à défaut, dans des orientations politiques récentes. Les finalités qui expriment la raison d'être du projet ne sont pas directement opératoires.

Les buts concrétisent les finalités en dégageant les axes opératoires tout en restant qualitatifs.

Les objectifs précisent les buts en les assortissant de données sur les niveaux quantitatifs à atteindre.

Les sous-objectifs ou moyens indiquent, toujours de façon quantitative, les moyens techniques ou organisationnels à mettre en œuvre pour que les niveaux définis par les objectifs soient atteints.

L'ensemble hiérarchisé des finalités, buts, objectifs et sous-objectifs constitue le système des objectifs représenté par un graphe qui a la structure suivante :



Cet ensemble évolue dans les différentes phases d'élaboration du projet, mais aussi lors de sa mise en œuvre et au cours de son exécution. Ceci conduit à préconiser l'établissement d'un graphe d'objectifs quelle que soit la phase d'analyse. Pendant la phase d'élaboration, il permet de situer clairement les actions envisagées, en cours d'exécution et en ex-post il permet de constater sa déformation par rapport au graphe initial et d'identifier les causes de cette évolution. Les raisons de cette dynamique peuvent être multiples. Elles peuvent être d'origine technique, dues à des erreurs dans la conception initiale du projet qui ont conduit à des réajustements. Elles peuvent être dues à des modifications sensibles de l'environnement du projet. Il peut s'agir de l'environnement économique qui se trouve modifié au plan du système de prix, ou de la demande. Il peut aussi s'agir de l'environnement politico-administratif qui a apporté des changements dans les options de la politique de développement rural.

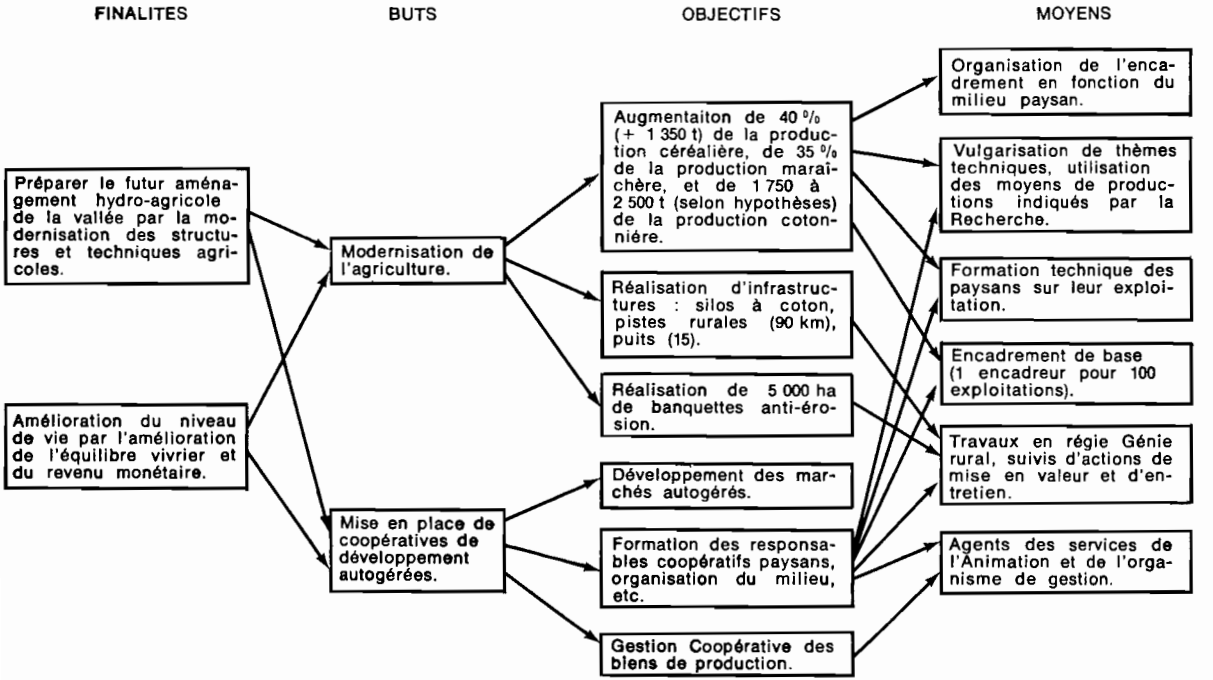
2.2. L'analyse fonctionnelle

Cette analyse est la suite logique de la détermination des objectifs et moyens du projet. L'identification des fonctions peut se faire directement à partir de chacun des sous-objectifs en recherchant pour chacun d'eux la ou les fonctions dont il demande la mise en œuvre pour être atteint.

Il s'agit de poser les problèmes de coûts, de financements et d'exécution. Chaque fonction est assurée par un agent. Cette identification permet :

— de préciser le contenu organisationnel de l'opération,
— d'identifier clairement les agents intervenant et leur rôle,
— de préciser les conditions de leur financement,
— d'être en mesure d'établir des comptes prévisionnels par agents.

GRAPHE D'OBJECTIFS D'UN PROJET



3. L'EVALUATION FINANCIERE ET ECONOMIQUE

Quels sont les effets que le projet aura sur les différents agents économiques concernés : la collectivité, l'Etat, les salariés, les établissements financiers, les entrepreneurs, les paysans concernés.

Certains agents doivent faire l'objet d'une analyse quantitative poussée :

— la collectivité, par rapport à laquelle on recherchera la rentabilité économique du projet,

— les paysans pour lesquels on estimera l'augmentation des résultats d'exploitation dans le cas d'une opération de développement rural,

— les salariés pour lesquels on estimera les conditions de rémunération dans le cas d'un projet en régie,

— le projet lui-même dont on recherchera les conditions de l'équilibre financier dans le cas d'une opération de développement rural, ou bien la rentabilité financière s'il s'agit d'un projet de type industriel.

3.1. L'évaluation financière

3.1.1. OPERATION DE DEVELOPPEMENT RURAL

Pour ce type d'opération, l'analyse financière consiste à établir un compte prévisionnel à partir des dépenses et recettes prévues et des données du montage financier de l'investissement.

L'analyse financière est faite en monnaie courante.

Les dépenses comprennent :

— les investissements, avec un échéancier de renouvellement ;

— les dépenses d'exploitation (salaires, fonctionnement, impôts et taxes, frais financiers).

Les recettes peuvent être nulles dans le cas d'un projet de productivité, ou exister lorsque les paysans paient un service au projet (redevance pour les aménagements agricoles, plants sélectionnés, intrants. . .).

Le montage financier suppose l'établissement de la liste des bailleurs de fonds et leur condition d'intervention. Ceci permet d'établir l'échéancier de remboursement des emprunts.

Le résultat d'ensemble peut s'exprimer dans un tableau.

Année	Dépenses d'exploitation			Comptes financiers		Total Emplois	Res-sources	Solde
	Directes	Impôts et taxes	Frais financiers	Amortis-sement de la dette	Investis-sements			
1								
2								
3								
4								

Dans ce type d'opération le solde est négatif et doit être couvert par une subvention d'exploitation annuelle.

3.1.2. PROJET INDUSTRIEL

L'analyse financière est conduite dans un double objectif :

— calculer la rentabilité financière interne du projet (analyse en monnaie constante),

— évaluer le plan de trésorerie (analyse en monnaie courante).

Dans ce type de projet, les recettes sont assurées par les ventes.

Les éléments de l'analyse sont les suivants :

— productions et chiffre d'affaires,

— coûts d'exploitation,

— investissements et amortissements,

— fonds propres et emprunts (remboursements et intérêts).

Ces éléments permettent la construction du compte d'exploitation prévisionnel :

Postes \ Années	1	2	n
Recettes :			
Ventes			
Dépenses :			
Exploitation			
Intérêts versés			
Amortissements			
Résultat Brut d'exploitation			
Impôts			
Résultat Net d'Exploitation			

et de calculer la rentabilité financière quel quel soit le mode de financement sur une chronique recettes-dépenses du projet qui comporte :

— en recettes : la valeur de la production,

— en dépenses : les coûts d'investissement et de renouvellement, les coûts d'exploitation.

Le compte de trésorerie contient les éléments suivants :

Postes \ Années	1	2	n
Ressources :			
— Capital			
— Emprunts			
— Bénéfice net après impôts			
— Dotations aux amortissements			
Emplois :			
— Remboursement			
— Emprunts			
— Investissements			
Solde			

Etabli en monnaie constante, il permet d'établir la rentabilité pour l'entrepreneur en effectuant le calcul du taux de rentabilité sur la chronique capital - solde de trésorerie.

Etabli en monnaie courante, il permet d'établir un plan de trésorerie tenant compte de la hausse de prix.

3.2. L'évaluation économique

Il est important de situer les effets du projet par rapport aux contraintes des orientations du plan ou à défaut des orientations de la politique économique : effets sur le Produit Intérieur Brut, les finances publiques, la balance commerciale, la balance des opérations courantes ou sur des éléments tels que l'autosuffisance alimentaire, l'amélioration nutritionnelle, l'aménagement du territoire.

Cette évaluation du projet, par rapport à un certain nombre d'agents de l'économie et par rapport à un certain nombre de critères macro-économiques, demande une bonne connaissance des structures éco-

nomiques du pays et des modalités de l'intégration du projet dans ses structures.

Pour tous les types de projet, il faut conduire une analyse économique du point de vue de la collectivité, à laquelle il faut ajouter une analyse des effets du projet sur les agriculteurs et autres agents éventuels du milieu rural (coopératives, commerçants, etc.) dans le cas d'un projet de développement rural.

Il est à noter qu'en général les projets de développement rural participent à une filière, ou des filières, constituée par ces différentes catégories d'agents modernes et traditionnels qui concourent à la mise à la consommation finale du ou des produits faisant l'objet du projet. En conséquence, ce sont les effets de l'ensemble de la filière avec les différents agents de l'économie qui doivent être analysés, ceux du seul projet en tant que tel n'étant pas suffisants pour représenter les conséquences de l'activité sur l'économie. D'où le développement actuel des analyses économiques de filières.

3.2.1. L'ANALYSE ECONOMIQUE DU POINT DE VUE DE LA COLLECTIVITE

Un projet issu d'une décision de politique sectorielle est mis en œuvre pour faire face à une **demande finale donnée.** En général, un projet vise à satisfaire une partie de cette demande et son exécution, à travers toute la filière des agents qui contribuent à la demande finale donnée, se traduit par la création de perturbations dans l'économie.

3.2.1.1. *La notion de perturbation*

Chaque agent concerné par le projet (1) va, pour assurer la satisfaction de la demande finale, exercer une activité qui se traduit en termes économiques par l'utilisation de consommations intermédiaires et la création de valeur ajoutée.

Les consommations intermédiaires entraînent des flux de demandes de biens dans différentes branches de l'économie.

Les perturbations dues à un projet donnent lieu à la modification de trois grands types de flux :

— les uns liés à l'utilisation de consommations intermédiaires,
— les autres à la distribution de valeur ajoutée entre les différents agents,
— les derniers liés à l'utilisation des revenus ainsi créés par les divers agents.

---

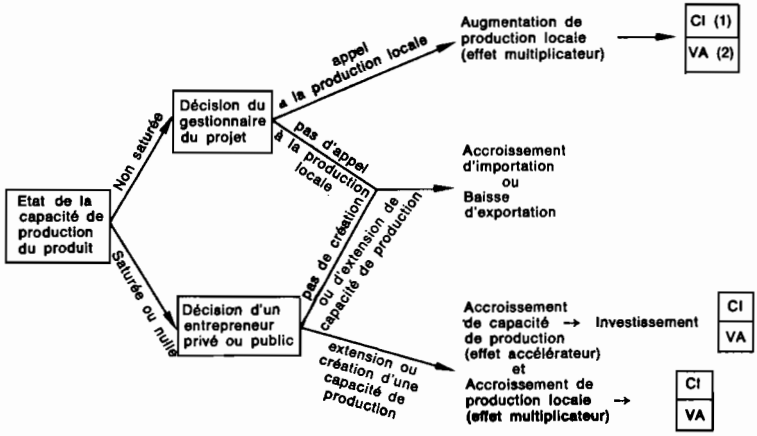
(1) Soit projet au sens strict, soit projet au sens large, intégrant l'ensemble des agents d'une filière.

a) **Effets dus à l'utilisation de consommations intermédiaires**

Ils dépendent du système économique local caractérisé par la capacité de production locale des marchandises en cause et des décisions qui peuvent être prises.

Schématiquement et à l'état des stocks près, on peut avoir les cas de figure suivants :

SCHEMA 1



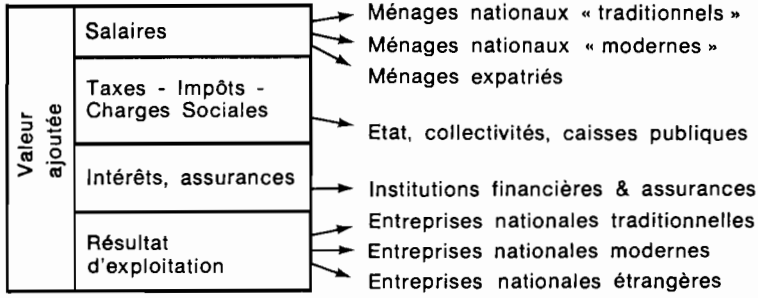
(1) CI : Consommations Intermédiaires.

(2) VA : Valeurs Ajoutées.

b) **Effets dus à l'augmentation de la distribution de valeur ajoutée**

Une valeur ajoutée est distribuée aux agents suivants :

SCHEMA 2



c) **Effets liés à l'utilisation des revenus supplémentaires reçus par les divers agents**

Ces revenus supplémentaires des ménages et entreprises peuvent être affectés à :

— l'achat de biens de consommation,

— la constitution d'épargne,

— au paiement d'impôts.

d) **Synthèse**

Les effets directs du projet, ceux directement imputables à la réalisation et au fonctionnement du projet ne tiennent pas compte de la propagation dans l'économie nationale de la perturbation créée par l'utilisation de consommations intermédiaires et la distribution de valeur ajoutée.

Si l'on prend en compte la propagation de la perturbation créée par les consommations intermédiaires, on aura les effets indirects.

La somme des effets directs et indirects, c'est-à-dire la somme des importations directes et indirectes (importations incluses) et celle des valeurs ajoutées directes et indirectes (valeurs ajoutées incluses) met en évidence l'ensemble des effets primaires :

Production totale du projet = Importations incluses + valeurs ajoutées incluses

3.2.1.2. *Le calcul des effets primaires*

La mise en œuvre de la méthode demande que soient successivement :

— précisés les objectifs et contraintes du projet et de la politique sectorielle ;

— identifiés les agents intervenant directement ou indirectement ;

— calculés les effets directs à partir de la chronique des investissements et des comptes d'exploitation prévisionnels, en monnaie constante. Par agent et pour l'ensemble à la fois pour le projet et pour la situation de référence ; cette situation de référence représente une alternative au projet ou à la politique sectorielle pour atteindre le même objectif ;

— calculés les effets indirects par agent et pour l'ensemble en décomposant les consommations intermédiaires locales en importations et valeurs ajoutées indirectes ;

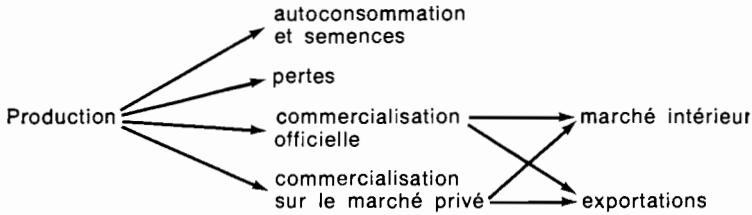
— calculés les effets primaires nets par comparaison entre la situation avec projet et la situation de référence.

3.2.1.3. *L'analyse*

Pour chaque agent et/ou pour l'opération, ou la politique sectorielle, assimilée à un agent unique, on détermine :

a. La production.

b. La destination de la production. Celle-ci est complexe, généralement du type suivant :



On doit aboutir à une quantification des flux circulant entre les producteurs et les utilisateurs finals en déterminant ce qui est destiné à l'intérieur (import-substitution) et à l'extérieur (gains de devises). Les résultats se présentent sous la forme d'une chronique des productions (en monnaie constante) qui distingue la part autoconsommée ou destinée au marché intérieur de la part exportée.

c. Les investissements nécessités par le projet sur la politique sectorielle.

On fera apparaître les coûts réels par poste en précisant leur origine : importé ou local, ainsi que les plans de financement mis en œuvre en distinguant les capitaux nationaux et étrangers.

d. Les comptes d'exploitation annuels.

Ces comptes sont repris sous forme de comptes de production et d'exploitation au sens de la comptabilité nationale. Apparaissent ainsi pour chaque année du projet, le produit d'une part, les consommations intermédiaires et la valeur ajoutée brute (amortissement compris), d'autre part (P = CI + VA). Rappelons que :

— **les consommations intermédiaires** correspondent aux marchandises et services consommés par la production (engrais, semences, carburant, pièces détachées, transports publics, entretien, réparation mécanique). On en déduit une chronique des consommations intermédiaires qui peut être ventilée suivant deux axes :
- les CI importées, valorisées à leur prix CAF. Il s'agit des CI directes,
- les CI produites localement, valorisées au prix à utilisation finale ;

— **la valeur ajoutée intérieure brute directe** est éclatée en salaires nationaux et étrangers, taxes et impôts, frais financiers, amortissements de renouvellement et résultats nets d'exploitation. On obtient ainsi le revenu brut perçu par chacun des agents économiques intérieurs (salariés, Etat, organismes financiers intérieurs, projet lui-même) du fait du projet. Autrement dit, ceci traduit, par la réparition entre les agents de l'économie, de la richesse créée par le projet.

La valeur ajoutée intérieure nette directe s'obtient en enlevant les amortissements de renouvellement ou les investissements.

Nous utiliserons également le concept de valeur ajoutée brute VAB qui est égale à la VAIB moins les revenus transférés à l'étranger. (Les revenus des agents étrangers réutilisés sur place sont ainsi pris en compte.)

Nous avons vu que les consommations intermédiaires sont ventilées entre :

— les CI importées, dites directes (CIM directes ou importations directes) ;

— les CI produites localement (CIL).

Dans la production des CI locales entrent nécessairement des CI importées et une valeur ajoutée intérieure brute, toutes deux dites indirectes (CIM indirectes et VAIB indirectes) :

$$CIL = VAIBi + CIMi$$

La VAIBi se décompose en salaires nationaux, expatriés, Etat, institutions financières, résultats bruts d'entreprises (RBEi), tous indirects.

3.2.1.4. *Utilisation pour l'évaluation a priori*

a) Effets sur les balances

Optique balance commerciale.

Le bilan devises, du point de vue de la balance commerciale, est mesurée pour l'année **t** par :

$$BC_t = P\ export_t — MI_t — CIM_t$$

$P\ export_t$ représente pour l'année de rang **t** la partie exportée de la production (valeur FOB en monnaie constante).

MI_t représente les importations incluses dans l'investissement de l'année **t**,

CIM_t représente les consommations intermédiaires incluses importées en cours de production.

Optique balance des opérations courantes (BOC).

On part des résultats précédents auxquels on retire les transferts directement effectués à l'étranger par des agents non nationaux exerçant leur activité dans le pays (expatriés, entreprises étrangères).

$$BOC = BC — (\text{transferts à l'intérieur de salaires et bénéfices}).$$

Optique balance des paiements (BP).

Dans cette rubrique, on intègre les crédits et subventions accordés par l'extérieur (aide bilatérale, organisations internationales) et on retire les intérêts et remboursements du capital toujours en prix courants (ce qui oblige à déflater les valeurs si les autres comptes sont établis en prix constants). La chronique des remboursements permet de mettre en évidence l'effet dette extérieure :

$$BP_t = BOC_t + C_t — R_t$$

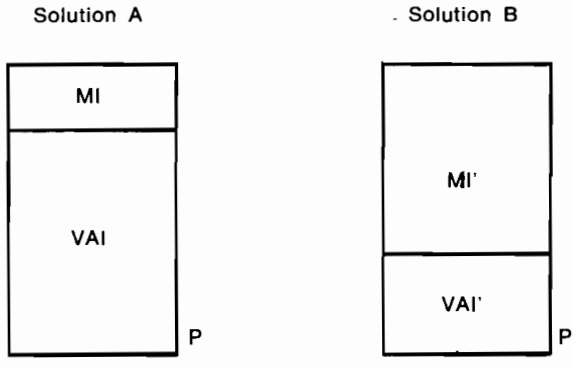
$\sum_{o}^{n} C$ = échéancier des prêts accordés ou prévus,

$\sum_{o}^{n} R$ = échéancier des remboursements.

b) L'appréciation d'un projet ou d'une politique par rapport à la situation de référence.

On peut juger en premier lieu de l'intérêt d'un projet en le comparant à une situation de référence qui conduit à la satisfaction d'une demande finale intérieure identique. Il peut s'agir d'un projet alternatif, existant ou non, ou de la solution qui consisterait à importer la même valeur (CAF) du produit final, ou encore d'une combinaison des deux solutions.

La comparaison, simple au plan du principe (1) porte sur les différentes solutions en établissant un bilan net des valeurs des importations M et valeurs ajoutées incluses.



Ceci nous conduit à introduire **a**, qui représente la valeur ajoutée supplémentaire due au projet par rapport à la solution de référence, dont nous verrons l'utilisation par la suite.

$$VAI - VAI' = (P - MI) - (P - MI')$$
$$= \triangle VA \text{ due à la solution A} = \mathbf{a}$$
$$= MI' - MI \quad = \text{gain en devises}$$

On trouve ainsi que **le gain net en devises est égal au supplément de valeur ajoutée a** (ceci découlant de l'hypothèse de satisfaction d'une même demande finale intérieure et de ce que l'analyse se limite aux effets primaires).

c) **Evaluation par rapport à des critères globaux.**

On procédera par la méthode des coûts et avantages, avec :

Premier cas T_I :

— en avantage la VAIB supplémentaire en période de fonctionnement, notée $\mathbf{a}_t$ pour l'année **t** ;

— en coûts, les investissements initiaux et de renouvellement notés I_t

On comparera ces deux éléments en calculant un taux de rentabilité interne T_I suivant, qui est la valeur de **r** telle que :

---

(1) Il s'agit là du cas de figure le plus simple correspondant à un choix du type produire ou importer.

$$\sum_{o}^{n} \frac{-I_t + a_t}{(1 + r)^t} = 0$$

Ce TRI privilégie la contrainte globale de financement et l'objectif de croissance du PIB.

On peut introduire une variante T'_1 à ce cas T_1 en prenant à la place de la VAIB, la VAB (valeur ajoutée brute) qui est égale à la précédente moins les revenus transférés à l'étranger. Dans ce cas on ne privilégie pas l'objectif PIB mais le PRB (produit brut réutilisé : PNB + part des revenus des agents étrangers réutilisés dans le pays).

Ce premier cas T_1 traduit le taux de rentabilité d'un investissement par rapport à un objectif de croissance intérieure. Il permet de classer des projets les plus intéressants dans la perspective de cet objectif de croissance globale. Il traduit également la contribution aux taux de croissance spécifique à l'investissement.

Deuxième cas T_2 :

— on notera en avantage la VAIB supplémentaire a ;

— en coûts le contenu en devises des investissements.

$$\sum_{o}^{n} \frac{\bar{a}_t - MI}{(1 + r)^t} = 0$$

Ce TRI privilégie : la contrainte en devises (balance commerciale), l'objectif croissance du PIB.
Dans ce cas on comparera non pas à l'investissement qui n'est pas la ressource rare mais à son contenu en devises qui l'est.

On peut comme dans le cas précédent envisager un taux T'_2 avec comme contrainte les devises (balance des opérations courantes BOC) et comme objectif la croissance du PBR tel que défini précédemment (c'est-à-dire sur la base de la VAB qui prend en compte les revenus des agents étrangers réutilisés dans le pays).

Ce second cas T_2 et T'_2 traduit le taux de rentabilité des devises, soit dans l'optique balance commerciale, soit dans l'optique des opérations courantes. Ce type de taux permet de classer les projets suivant la croissance permise par les devises dépensées pour réaliser les investissements.

d) **Calcul de ratios.**

Les ratios permettent de porter un jugement rapide sur un projet. Il s'agit d'un travail sur une « année de croisière », soit telle qu'elle peut être prévue existante, soit telle qu'elle peut être mesurée ex post ou année par année dans un système de suivi.

$$R_1 = \frac{\text{valeur ajoutée directe}}{\text{production}} \qquad R_2 = \frac{\text{valeur ajoutée incluse}}{\text{production}}$$

R_1 et R_2 caractérisent un processus de production.

R_1 permet d'apprécier l'opération en elle-même, qui se présente d'autant mieux que le ratio est élevé. Il faut toutefois prendre garde dans une évaluation **a posteriori** lors de l'interprétation, aux subventions dont bénéficient les CI, qui faussent les ratios.

R_2 permet d'apprécier l'opération, plus ses conséquences sur le reste de l'économie.

Si les deux ratios ont une valeur proche, l'opération s'articule peu sur le reste de l'économie. Si R_2 est sensiblement supérieur à R_1 l'opération est bien intégrée dans le reste de l'économie.

Il faut toutefois faire attention au fait que R_2 situation avec projet peut se révéler bon mais que le R_2 situation de référence peut être meilleur. D'où l'intérêt, pour supprimer ce risque, de travailler en valeur ajoutée supplémentaire **a** (VA avec projet — VA situation de référence). Le projet n'est intéressant que si VA supplémentaire > 0, et d'autant plus que le ratio est grand. D'où l'intérêt du ratio R_3 :

$$R_3 = \frac{\text{valeur ajoutée supplémentaire}}{\text{investissement initial}}$$

Ce ratio traduit la richesse dégagée pour la collectivité par un investissement.

Le ratio R_4 traduit la dépendance engendrée par le projet ou la politique par rapport à l'extérieur.

$$R_4 = \frac{\text{importations incluses}}{\text{investissement total}} = \frac{MI}{I}$$

Il représente les importations incluses dans l'investissement, et donc la dépendance technique par rapport à l'étranger. I en dénominateur est le montant total de l'investissement.

R_5 traduit le taux potentiel de rentabilité des devises investies :

$$R_5 = \frac{a}{MI}$$

e) **Effets sur le budget de l'Etat et les comptes du secteur public.**

Il s'agit de déterminer **les charges récurrentes** représentant l'ensemble des coûts que doit prendre en charge le secteur public pour que l'opération puisse effectivement fonctionner.

Ces effets peuvent être directs :

— au niveau des recettes : taxes directes, impôts, etc. ;

— au niveau des coûts :
  - investissements à la charge de l'Etat,
  - subventions d'exploitation,
  - coûts d'intervention d'agents para-publics ;
— solde net ramené au budget.

Ces effets peuvent être indirects : part revenant à l'Etat dans la valeur ajoutée intérieure brute indirecte.

Globalement on pourra ainsi déterminer les effets directs sur les ressources de l'Etat qui sont généralement une ressource rare. Ce point s'articule alors avec l'analyse financière du projet ou de la politique économique ce qui n'est pas le moindre intérêt de la méthode.

3.2.2. L'ANALYSE ECONOMIQUE DU POINT DE VUE DES AGRICULTEURS

L'analyse classique consiste, partant d'un compte d'exploitant moyen avant le projet, à établir un compte prévisionnel de l'exploitant qui aurait adhéré aux thèmes du projet.

Cette méthode ignore le plus souvent la réalité des faits. Un projet engendre généralement une modification fondamentale des rapports de production. Cette modification se traduit le plus souvent par un appel à la main-d'œuvre salariée qui accroît les charges d'exploitation.

La valorisation de la production pose le problème du système de prix ; en effet il existe dans la plupart des cas, des prix officiels et des prix sur le marché parallèle. Suivant que l'on se réfère à tel ou tel prix, les résultats pour le producteur sont totalement différents.

L'analyse économique, au niveau des producteurs, doit tenir compte de tous ces éléments, détaillés dans le chapitre consacré à l'économie rurale.

III

PLAN INDICATIF
D'UNE ETUDE DE FACTIBILITE

L'étude de factibilité conduite lors de l'élaboration d'un projet donne lieu à l'établissement d'un dossier auquel il sera fait référence pour décider de sa mise en place et ensuite pour analyser l'évolution de l'opération.

Ce dossier constitué pour décider du financement d'un projet doit contenir l'ensemble des justifications techniques, financières et éco-

nomiques qui ont conduit à le soumettre à l'autorité nationale et aux organismes financiers.

Nous donnons ici un cadre général d'une étude de factibilité, les chapitres seront plus ou moins développés selon le type de projet évalué.

RESUME ET CONCLUSION

Exposition brève des principales données du projet : priorité, objet, emplacement, bénéficiaires, période de réalisation, coûts, organisation, avantages économiques.

GENERALITES

Description de la situation économique et agricole du pays dans ses relations avec le projet :

— statistiques de base,

— problèmes agricoles,

— politique de développement,

— structure institutionnelle.

ZONE DU PROJET

Cadre physique, agricole, social, économique, institutionnel et juridique dans lequel s'insère le projet.

Selon les cas, on insistera sur certains aspects, tels que :

— ressources physiques :
  - topographie,
  - hydrogéologie,
  - climat,
  - pédologie,
  - classification des terres selon leurs aptitudes ;

— régime foncier ;

— potentiel de production : utilisation des terres, cultures, rendements, irrigation, cheptel. . . ;

— ressources humaines :
  - population,
  - main-d'œuvre,
  - emploi,
  - niveau des revenus,
  - moyens d'enseignement,
  - aspirations de la population ;

— infrastructure économique ;
— institutions.

LE PROJET

— Objet de la réalisation proposée.
— Choix de l'emplacement, procédés de production et ampleur du projet.
— Analyse d'objectifs, analyse fonctionnelle.
— Description des principaux travaux. Exemple : hydraulique, réseaux...
— Calendrier d'exécution : problèmes spéciaux d'exécution.
— Estimation des coûts en adoptant la ventilation suivante :
  - investissements,
  - fonctionnement et entretien annuel,
  - dépenses en monnaie locale et devises,
  - échéancier.

ORGANISATION ET DIRECTION

— Description du mode d'exécution et d'exploitation du projet.
— Situation des responsabilités lors de l'exécution et de l'exploitation du projet, en précisant les modalités selon lesquelles ils s'acquitteront de ces fonctions.

PERSPECTIVES DE MARCHE ET DE PRIX

— Politique des prix des intrants et des produits agricoles.

REVENUS ET COMPTES D'EXPLOITATION

— Au niveau de chaque agent intervenant dans le projet.

JUSTIFICATION FINANCIERE ET ECONOMIQUE

Voir § II - 2.

ANNEXES ET JUSTIFICATIONS TECHNIQUES

CHAPITRE XXIV

ÉLÉMENTS DE COMPTABILITÉ D'ENTREPRISE*

La comptabilité participe au système d'information de toute entreprise et plus généralement de toute organisation.

Les informations recueillies et traitées par le système comptable peuvent être relatives :

— aux relations avec l'extérieur : les clients, les fournisseurs, les apporteurs de capitaux, l'Etat ;

— aux relations internes ; analyse de la production, de la commercialisation...

Les informations fournies par le système comptable ont un caractère rétrospectif ou prévisionnel.

En croisant ces critères on obtient les trois domaines du système d'information comptable :

	Rétrospectif	Prévisionnel
Externe	Comptabilité générale	
Interne	Comptabilité analytique d'exploitation	Comptabilité budgétaire

1. COMPTABILITÉ GÉNÉRALE

La comptabilité générale permet l'enregistrement des mouvements concernant les biens, les créances et dettes de l'entreprise au moment où ils se produisent. A partir de ces enregistrements, on peut :

— mesurer le résultat d'exploitation pour une période donnée ;

— connaître la situation patrimoniale à un moment donné ;

le document qui l'exprime est le bilan.

1.1. L'exploitation et la trésorerie

La réalisation d'une opération par l'entreprise fait naître une dette ou une créance, on distingue :

— les charges (en particulier les achats) ;

— les produits (en particulier les ventes) ;

ce sont les composantes de l'exploitation.

(*) La plus grande partie des éléments contenus dans ce chapitre sont issus de l'ouvrage de François KREMPER et Michel JOUVENT : **Initiation à la comptabilité d'entreprise et à la gestion financière**, Société d'Etude pour le développement économique et social (SEDES), Ministère de la Coopération, Paris 1975.

A la fin d'une période on peut dégager un résultat d'exploitation par différence entre les produits et les charges.

Le règlement financier des opérations se traduit par :
— les décaissements (dépenses),
— les encaissements (recettes) ;
ce sont les composantes de la trésorerie.

La comptabilité générale permet la saisie simultanée des mouvements concernant l'exploitation et la trésorerie.

1.2. La partie double

Les opérations sont enregistrées dans des comptes. Un compte est un tableau comportant deux parties : une pour les augmentations, une pour les diminutions. Par convention, la partie de gauche est appelée débit, la partie de droite crédit. Pour déterminer la situation du compte, on complète la partie la plus faible pour obtenir une égalité. Cette différence est appelée solde.

La constatation d'un mouvement donne lieu à au moins deux enregistrements tels que le montant enregistré dans des colonnes de droite (crédit) soit égal au montant enregistré dans des colonnes de gauche (débit).

Par convention :

— dans le compte d'exploitation : les augmentations (produits) sont enregistrées dans la colonne de droite (crédit) et les diminutions (charges) dans la colonne de gauche (débit) ;

— dans le compte trésorerie : les augmentations (encaissements) sont enregistrées dans la colonne de gauche (débit) et les diminutions (décaissement) dans la colonne de droite (crédit).

En pratique, il y a le plus souvent un décalage entre le stade de la réalisation et le stade financier, ce décalage conduit à l'ouverture de comptes d'attente.

Exemple :

Une entreprise achète pour 50 000 F de marchandises le 1er mars et règle la dépense à raison de 20 000 F le 30 mars, 30 000 le 30 avril.

Les enregistrements sont les suivants :

Trésorerie		Fournisseur		Exploitation	
Débit	Crédit	Débit	Crédit	Débit	Crédit
	20 000 (30/3) 30 000 (30/4)	20 000 (30/3) 30 000 (30/4)	50 000 (1/3)	50 000 (1/3)	

1.3. La synthèse : Résultats et bilans

Pour connaître la situation de l'entreprise, on procède à l'arrêté des comptes.

Conformément au principe de la partie double, on observe les égalités suivantes :

Somme des enregistrements dans les colonnes débit	=	Somme des enregistrements dans les colonnes crédit
Somme des soldes débiteurs	=	Somme des soldes créditeurs
Somme compte EXPLOITATION	=	Somme compte TRESORERIE
	±	Somme des soldes comptes d'attente

Le solde du compte EXPLOITATION mesure le résultat d'exploitation de la période.

Il s'agit :

— d'un bénéfice : si le solde est créditeur (produits > charges),

— d'une perte : si le solde est débiteur (charges > produits).

La situation patrimoniale est exprimée par le document appelé bilan dans lequel sont reclassés d'une manière ordonnée le compte de trésorerie, les comptes d'attente avec leurs soldes et le résultat d'exploitation.

Le bilan se présente comme suit :

ACTIF	PASSIF
Comptes d'attente ayant un solde débiteur	Comptes d'attente ayant un solde créditeur
Trésorerie (si débit > crédit)	Trésorerie (si crédit > débit)
Résultat d'exploitation (si perte)	Résultat d'exploitation (si bénéfice)

Les comptes débiteurs sont normalement :

— les comptes d'immobilisations : terrains, immeubles, matériel, ...

— les comptes relatifs aux prêts consentis par l'entreprise aux titres qu'elle possède, ...

— les comptes de stocks,

— les comptes clients,

— le ou les comptes de trésorerie.

Les comptes créditeurs sont normalement :

— le compte capital,

— les comptes relatifs aux emprunts consentis à l'entreprise (dettes),

— les comptes fournisseurs,

— le compte d'exploitation (si bénéfice).

La situation patrimoniale se décrit ainsi :

à l'actif	au passif
Ensemble des biens créances disponibilités	Ensemble des dettes

La différence ou situation nette représente :

— le capital,

— le résultat d'exploitation.

1.4. L'organisation du travail comptable

Afin de rendre les données comptables accessibles, une normalisation a été introduite sous la forme d'un plan comptable général.

1.4.1. LE PLAN COMPTABLE GENERAL FRANÇAIS

Le plan comptable se caractérise :

— par des règles d'évaluation,

— par une terminologie explicative,

— par un classement des comptes,

— par des modèles de présentation des principales synthèses comptables.

L'ensemble des comptes est divisé en 10 classes :

1 à 8 : comptabilité générale,
9 : comptabilité analytique d'exploitation,
0 : comptes spéciaux.

Les comptes 1 à 5 sont des comptes de situation ou de bilan, ce sont les comptes d'attente et de trésorerie.

Les comptes 6 et 7 sont des comptes de gestion permettant de déterminer le résultat (6 : charges, 7 : produits).

Les comptes de la classe 8 permettent l'enregistrement d'éléments exceptionnels ou sur exercices antérieurs et comprennent les comptes de résultats.

Les résultats sont déterminés en deux étapes :

— un résultat d'exploitation est d'abord dégagé au moyen de compte de synthèse « Exploitation Générale »,

— un résultat net au moyen du compte « Pertes et Profits » (Voir page 1428).

1.4.2. LE PLAN COMPTABLE GENERAL OCAM

Ce plan adopté en 1970 est largement utilisé dans les pays africains.

Aux objectifs de normalisation et de gestion, s'ajoute son souci d'utilisation pour la confection de comptes nationaux.

Nous présentons ici le cadre comptable et les documents de synthèse du PCG - OCAM :

— Cadre comptable (voir page 1420).

L'ensemble des comptes est divisé en 9 classes. Les comptes de 1 à 8 sont dédoublés en comptes de situation et comptes de mouvements.

— Tableau 1 - Soldes caractéristiques de gestion (voir page 1422).

Il remplace les comptes « Exploitaiton Générale » et « Pertes et Profits » du plan français, il permet de mettre en évidence, par soldes

COMPTES DE MOUVEMENTS

COMPTES DE MOUVEMENTS PATRIMONIAUX

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Comptes de capitaux à long et à moyen terme	**Comptes de valeurs immobilisées**	**Comptes de stocks**	**Comptes de tiers et de régularisation**	**Comptes financiers**
10 - Capital	20 - Frais et valeurs incorporelles immobilisés	30 - Marchandises	40 - Fournisseurs	50 - Emprunts à moins d'un an
11 - Réserves	21 - Terrains	31 - Matières et fournitures	41 - Clients	51 - Prêts à moins d'un an
12 - Report à nouveau	22 - Autres immobilisations corporelles	32 - Déchets et rebuts	42 - Personnel	52 - Titres à court terme
13-	23 - Autres immobilisation corporelles en cours	33 - Emballages commerciaux	43 - Etats et organismes africains ou internationaux	53 - Effets et Warrants à payer
14 - Subventions d'Equipement	24 - Avances et acomptes sur commandes d'immobilisations en cours	34 - Produits semi-ouvrés	44 - Associés	54 - Effets et Warrants à recevoir
15 -	25 - Prêts et autres créances à long et à moyen terme	35 - Produits finis	45 - Sociétés apparentées	55 - Chèques et coupons à encaisser
16 - Emprunts - obligations	26 - Titres (autres que les titres à court terme)	36 - Produits en cours	46 - Créditeurs et débiteurs divers	56 - Banques et Chèques Postaux
17 - Autres emprunts et dettes à long et à moyen terme	27 -	37 - Travaux en cours	47 - Comptes et régularisation de la gestion de la période (mouv. créditeurs)	57 - Caisse
18 -	28 -	38 - Stocks en cours de route et à réceptionner.	48 - Comptes de régularisation de la gestion de la période (mouv. débiteurs)	58 - Comptes de régies d'avances et d'accréditifs
19 - Cession antre siège, établissements ou succursales		39 - Achats	49 - Opérations en attente ou à régulatiser	59 - Virements internes
018 - Provisions pour charges et pertes	029 - Provisions pour dépréciation des valeurs immobilisées	039 - Provisions pour dépréciation des stocks	049 - Provisions pour dépréciation des comptes de tiers	059 - Provisions pour dépréciation des comptes financiers
018 - 017 - 016 - 015 - 014 - 013 - 012 - 011 - 010 -	028 - Amortissements des immobilisations	038 -	048 -	058 -
	Structure des comptes de situation patrimoniale identique à celle des comptes de mouvements patrimoniaux			
	020 -	030 -	040 -	050 -
Comptes de capitaux à long et à moyen terme	**Comptes de valeurs immobilisées**	**Comptes de stocks**	**Comptes de tiers et de régularisation**	**Comptes financiers**
Classe 01	**Classe 01**	**Classe 03**	**Classe 04**	**Classe 05**

COMPTES DE SITUATION PATRIMONIALE (Bilan)

cadre comptable

DE LA PÉRIODE

COMPTES DE GESTION

	Classe 6 (et classe 06)	Classe 7 (et classe 07)	Classe 8	Classe 9
	Comptes de charges et pertes par nature	**Comptes de produits et profits par nature**	**Soldes caractéristiques de gestion**	**Comptes analytiques d'exploitation**
	60 - Coûts des stocks vendus	70 - Ventes de marchandises	80 - Détermination de la marge brute	90 - Comptes réfléchis
	61 - Matières et fournitures consommées	71 - Production vendue	81 - Détermination de la valeur ajoutée	91 - Reclassement de charges et sections et
	62 - Transports consommés	72 - Production stockée	82 - Détermination des résultats d'expl. et hors exploitation (082)	92 - Reclassement de charges et sections
	63 - Autres services consommés	73 - Travaux faits par l'entreprise p.e/m. Frais à immobiliser ou à transférar	83 -	93 - Coûts et Prix de revient
	64 - Charges ou pertes diverses	74 - Produits ou profits divers	84 - Détermination des rés. sultats s/cession d'éléments d'actif immobil.	94 - Inventaire permanent
	65 - Frais de personnel	75 -	85 - Détermination du rés. net avant impôt sur résultat	95 -
	66 - Impôts et taxes	76 - Subventions d'exploitation et hors exploit.	86 - Détermination de l'impôt sur le résultat	96 - Ecarts sur coûts préétablis
175 - Affectation du résultat net de la période précédente	67 - Intérêts	77 - Intérêts et dividendes reçus	870 - Détermination du rés. net de la période à affecter	97 - Différences d'incorporation
88 - Mouvements des amortissements de la période	68 - Dotations aux amortissements et aux provisions	78 - Reprises sur amortissements et provisions		98 - Résultats de la Comptabilité analytique
89 - Mouvements des provisions de la période	69 - Produits et services reçus d'autres établissements ou succursales	79 - Produits et services cédés à d'autres établissements ou succursales		

0875 - Résultat net en attente d'affectation

Total de la classe 7 (et classe 07) :
− Total de la classe 6 (et classe 06) :
± Soldes des comptes 84 et 86 :

= Bénéfice net (ou perte) de la période : = Solde du Compte 870

Total des soldes débiteurs des comptes des classes 01 à 05 : +
Total des soldes créditeurs des comptes des classes 01 à 05 : −

= Bénéfice net (+) ou perte (−) : = Montant du Compte 0875

Compte de résultat

Compte 087

N° des comptes		DÉBITS		
		Exploitation	Hors exploitation	TOTAL
60/060	**80 – DÉTERMINATION DE LA MARGE BRUTE** Coût des stocks vendus SOLDE : MARGE BRUTE TOTAL			
61/061 62/062 63/063	**81 – DÉTERMINATION DE LA VALEUR AJOUTÉE** – CONSOMMATIONS INTERMÉDIAIRES – Matières et fournitures consommées Transports consommés Autres services consommés SOLDE : VALEUR AJOUTÉE TOTAL			
64/064 65/065 66/066 67/067 68/068	**DÉTERMINATION DES RÉSULTATS D'EXPLOITATION (82) ET HORS EXPLOITATION (082)** Charges et pertes diverses Frais de personnel Impôts at taxes Intérêts Dotations aux amortissements et aux provisions SOLDE CRÉDITEUR : RÉSULTAT D'EXPLOITATION SOLDE CRÉDITEUR : RÉSULTAT HORS EXPLOITATION TOTAUX			
	84 – DÉTERMINATION DES RÉSULTATS SUR CESSION D'ÉLÉMENTS D'ACTIF IMMOBILISÉS Valeur d'entrée des éléments cédés Frais annexes de cession transférés SOLDES CRÉDITEURS : PLUS-VALUES DE CESSION TOTAL			
	85 – DÉTERMINATION DU RÉSULTAT NET AVANT IMPOT SUR LE RÉSULTAT Résultat d'exploitation (virement du solde débiteur de 82) Résultat hors exploitation (virement du solde débiteur de 082) Moins-values de cession (virement des soldes débiteurs de 84) SOLDE CRÉDITEUR : RÉSULTAT NET AVANT IMPOT (bénéfice) TOTAL			
	88 – DÉTERMINATION DE L'IMPOT SUR LE RÉSULTAT Acomptes provisionnels (ou minimum fiscal) Restant dû TOTAL			
	870 – DÉTERMINATION DU RÉSULTAT NET DE LA PÉRIODE A AFFECTER Résultat net avant impôt (virement du solde débiteur de 85) Impôt sur le résultat (virement du solde débiteur de 86) SOLDE CRÉDITEUR : RÉSULTAT NET A AFFECTER (bénéfice) TOTAL			

TABLEAU 1 – soldes caractéristiques de gestion

N° des comptes		CRÉDITS		
		Exploitation	Hors exploitation	TOTAL
	80 – DÉTERMINATION DE LA MARGE BRUTE			
70/070	Ventes de marchandises			
	TOTAL			
	81 – DÉTERMINATION DE LA VALEUR AJOUTÉE			
	– PRODUCTION –			
	MARGE BRUTE (virement du solde précédent)			
71/071	Production vendue			
72/072	Production stockée			
73	Travaux faits par l'entreprise pour elle-même			
073	Frais à immobiliser ou à transférer			
	TOTAL			
	DÉTERMINATION DES RÉSULTATS D'EXPLOITATION (82) ET HORS EXPLOITATION (082)			
	VALEUR AJOUTÉE (virement du solde précédent)			
74/074	Produits et profits divers			
76/076	Subventions d'exploitation et hors exploitation			
77/077	Intérêts et dividendes reçus			
78/078	Reprises sur amortissements et provisions			
	SOLDE DÉBITEUR : RÉSULTAT D'EXPLOITATION			
	SOLDE DÉBITEUR : RÉSULTAT HORS EXPLOITATION			
	TOTAUX			
	84 – DÉTERMINATION DES RÉSULTATS SUR CESSION D'ÉLÉMENTS D'ACTIF IMMOBILISÉS			
	Prix de cession (ou indemnisation)			
	Amortissements relatifs aux éléments sortis du patrimoine			
	SOLDES DÉBITEURS : MOINS-VALUES DE CESSION			
	TOTAL			
	85 – DÉTERMINATION DU RÉSULTAT NET AVANT IMPOT SUR LE RÉSULTAT			
	Résultat d'exploitation (virement du solde créditeur de 82)			
	Résultat hors exploitation (virement du solde créditeur de 082)			
	Plus-values de cession (virement des soldes créditeurs de 84)			
	SOLDE DÉBITEUR : RÉSULTAT NET AVANT IMPOT (perte)			
	TOTAL			
	86 – DÉTERMINATION DE L'IMPOT SUR LE RÉSULTAT			
	Trop versé			
	SOLDE DÉBITEUR : IMPOT SUR LE RÉSULTAT			
	TOTAL			
	870 – DÉTERMINATION DU RÉSULTAT NET DE LA PÉRIODE A AFFECTER			
	Résultat net avant impôt (virement du solde créditeur de 85)			
	SOLDE DÉBITEUR : RÉSULTAT NET A AFFECTER (perte)			
	TOTAL			

			N° des comptes	INTITULÉS DES COMPTES	Soldes débiteurs des comptes de situation à l'ouverture de la période	Mouvements patrimoniaux de la période			Soldes débiteurs des comptes de situation à la clôture de la période
						Flux externes		Flux internes	
					Reports des soldes	+ Augmentations	− Diminutions	+ ou − Virements de compte à compte	Soldes reportables
			20	Frais et valeurs incorporelles immobilisés					
EMPLOIS	FLUX PHYSIQUES	LONG TERME		**IMMOBILISATIONS**					
			21	Terrains					
			22	Autres immobilisations corporelles					
			23	Autres immobilisations corporelles en cours					
		COURT TERME		**STOCKS**					
			30	Marchandises					
			31	Matières et fournitures					
			33	Emballages commerciaux					
			34	Produits semi-ouvrés					
			35	Produits finis					
			36	Produits en cours					
			37	Travaux en cours					
			38	En cours de route et à réceptionner					
	FLUX FINANCIERS	LONG TERME		**AUTRES VALEURS IMMOBILISÉES**					
			24	Avances et acomptes sur commandes d'immobilisations en cours					
			25	Prêts et autres créances à long et à moyen terme					
			26	Titres (autres que les titres à court terme)					
		COURT TERME		**VALEURS RÉALISABLES A COURT TERME**					
			40	Fournisseurs-Avances et acomptes versés					
			41	Clients					
			42	Personnel					
			43	Etat et organismes africains ou internationaux					
			44	Associés					
			45	Sociétés apparentées					
			46	Débiteurs divers					
			51	Prêts à moins d'un an					
			52	Titres à court terme					
			54	Effets et warrants à recevoir					
				DISPONIBLE					
			55	Chèques et coupons à encaisser					
			56	Banques et chèques postaux					
			57	Caisse					
			58	Comptes de régies d'avances et d'accréditifs					
			48	Comptes de régularisation de la gestion-mouvements débiteurs					
								0	
				TOTAUX	X	Y			Z

TABLEAU 2 – tableau de passage aux soldes des comptes patrimoniaux

		N° des comptes	INTITULÉS DES COMPTES	Soldes créditeurs des comptes de situation à l'ouverture de la période	Mouvements patrimoniaux de la période			Soldes créditeurs des comptes de situation à la clôture de la période
					Flux externes		Flux internes	
				Reports des soldes	– Diminutions	+ Augmentations	+ ou – Virements de compte à compte	Soldes reportables
RESSOURCES	DE GESTION	87	**RÉSULTATS NETS**					
		870	– de la période (à affecter)	//////////			//////////	
		875	– affectation du résultat net de la période précédente					//////////
		88	**AMORTISSEMENTS**					
			Amortissements des frais et valeurs incorporelles immobilisés					
			Amortissements des immobilisations					
		89	**PROVISIONS**					
			Provisions pour charges et pertes					
			Provisions pour dépréciation					
	A LONG TERME		**CAPITAUX PROPRES**					
		10	Capital					
		11	Réserves					
		12	Report à nouveau					
		14	Subventions d'équipement					
			DETTES A LONG ET A MOYEN TERME					
		16	Emprunts-obligations					
		17	Autres emprunts et dettes à long et à moyen terme					
	A COURT TERME		**DETTES A COURT TERME**					
		40	Fournisseurs					
		41	Clients-Avances et acomptes reçus					
		42	Personnel					
		43	Etat et organismes africains ou internationaux					
		44	Associés					
		45	Sociétés apparentées					
		46	Créditeurs divers					
		50	Emprunts à moins d'un an					
		53	Effets et warrants à payer					
		56	Banques – Avances reçues à moins d'un an (soldes créditeurs)					
		47	Comptes de régularisation de la gestion-mouvements créditeurs					
							0	
			TOTAUX	X	Y			Z

	ACTIF	Montant brut	Amortissements et provisions pour dépréciation	Montant net	Totaux partiels
VALEURS IMMOBILISEES	**FRAIS ET VALEURS INCORPORELLES IMMOBILISÉS**				
	– Frais immobilisés	020	028		
	– Valeurs incorporelles	020	029		
	IMMOBILISATIONS CORPORELLES				
	– Terrains	021	029		
	– Autres immobilisations corporelles	022	028 - 029		
	– Autres immobilisations corporelles en cours	023	028 - 029		
	AUTRES VALEURS IMMOBILISÉES				
	– Avances et acomptes sur commandes d'immobilisations en cours	024			
	– Prêts et autres créances à long et à moyen terme	025	029		
	dont : partie à encaisser à moins d'un an (1)				
	– Titres (autres que titres à court terme)	026	029		
					.....
STOCKS	**VALEURS D'EXPLOITATION**				
	– Marchandises	030	039		
	– Matières et fournitures	031	039		
	– Emballages commerciaux	033	039		
	– Produits semi-ouvrés	034	039		
	– Produits finis	035	039		
	– Produits en cours	036	039		
	– Travaux en cours	037			
	– En cours de route, et à réceptionner	038			
	TOTAL				.....
TIERS DEBITEURS	**VALEURS RÉALISABLES A COURT TERME & DISPONIBLE**				
	– Fournisseurs-Avances et acomptes versés	040	049		
	– Clients	041	049		
	– Personnel	042	049		
	– Etat et organismes africains ou internationaux	043			
	– Associés	044	049		
	– Sociétés apparentées	045	049		
	– Débiteurs divers	046	049		
	– Comptes de régularisation – ACTIF	048			
SOLDES FINANCIERS DEBITEURS	– Prêts et autres créances à long et à moyen terme (partie à encaisser à moins d'un an) (1)	025			
	– Prêts à moins d'un an	051	059		
	– Titres à court terme	052	059		
	– Effets et warrants à recevoir	054			
	– Chèques et coupons à encaisser	055			
	– Banques et chèques postaux	056			
	– Caisse	057			
	– Comptes de régies d'avances et d'accréditifs	058			
	TOTAUX				.....
	TOTAL GÉNÉRAL				
	Montant des engagements reçus				

(1) Présentation laissée au choix de l'entreprise

TABLEAU 3 – bilan (situation patrimoniale)

	PASSIF	Montant net	Totaux partiels
CAPITAUX A LONG ET A MOYEN TERME	**CAPITAL PROPRE** – Capital social (ou personnel) – Primes d'émission	010	
	RÉSERVES – Réserves réglementaires – Réserves libres	011	
	REPORT A NOUVEAU	012	
	TOTAL : SITUATION NETTE (avant résultat de la période)		.....
	SUBVENTIONS D'ÉQUIPEMENT	014	
	DETTES A LONG ET A MOYEN TERME :		
	– Emprunts-obligations: Montant brut comptabilisé: 016. ; Primes de remboursement (à déduire): 0169	016	
	– Autres emprunts et dettes à long et à moyen terme dont : partie à payer à moins d'un an (comptes 016 et 017) (1)	017	
	PROVISIONS POUR CHARGES ET PERTES	019	
	TOTAL		.....
TIERS CRÉDITEURS	**DETTES A COURT TERME**		
	– Fournisseurs	040	
	– Clients-Avances et acomptes reçus	041	
	– Personnel	042	
	– Etat et organismes africains ou internationaux	043	
	– Associés	044	
	– Sociétés apparentées	045	
	– Débiteurs divers	046	
	– Comptes de régularisation – PASSIF	047	
SOLDES FINANCIERS CRÉDITEURS	– Dettes à long et à moyen terme (partie à payer à moins d'un an) (1)	016 et 017	
	– Emprunts à moins d'un an	050	
	– Effets et warrants à payer	053	
	– Banques-Avances reçues à moins d'un an	056	
	TOTAL		.....
	RÉSULTAT NET de la période à affecter (bénéfice ou perte)		0875
	TOTAL GÉNÉRAL		
	Montant des engagements donnés		

successifs, la marge brute, la valeur ajoutée jusqu'au résultat net à affecter.

— Tableau 2 - Passage aux soldes des comptes patrimoniaux (voir page 1284).

Il analyse les mouvements des comptes de bilan.

— Tableau 3 - Bilan (voir page 1426).

EXPLOITATION GENERALE

Charges	Produits
Stocks au début de l'exercice	Stocks en fin d'exercice
— Provisions pour dépréciation	— Provisions pour dépréciation
— Achats de matière ou marchandises	— Ventes de marchandises et produits finis
— Frais de personnel	— Subventions d'exploitation reçues
— Impôts et taxes	— Ventes de déchets et d'emballages récupérables
— Travaux, fournitures et services extérieurs	— Ristournes, rabais et remises obtenus
— Transports et déplacements	— Produits accessoires
— Frais divers de gestion	— Produits financiers
— Frais financiers	— Travaux faits par l'entreprise pour elle-même
— Dotation de l'exercice au compte de provision	— Travaux à charge non imputables à l'exploitation de l'exercice
— Solde créditeur (bénéfice) (si produits > charges).	— Solde débiteur (perte) (si charges > produits).

PERTES ET PROFITS

Pertes	Profits
Pertes d'exploitation de l'exercice	Profits d'exploitation de l'exercice
Pertes sur exercices antérieurs	Profits sur exercices antérieurs
Pertes diverses	Profits divers
Impôts sur les bénéfices	
Bénéfice net (si profits > pertes).	Perte nette (si pertes > profits).

2. COMPTABILITE ANALYTIQUE D'EXPLOITATION

Tournée vers la gestion elle met en relief les éléments constitutifs des coûts et des résultats. Elle exige un organigramme de gestion clair et précis.

Les informations nécessaires sont à la fois comptables et techniques. Le plan comptable français et le plan comptable OCAM ont adopté le principe de l'autonomie de la comptabilité analytique. La liaison avec la comptabilité générale se fait à l'aide de comptes réfléchis (classe 9).

2.1. Coût réel et complet (full cost)

Toutes les charges sont enregistrées et l'on retranche les charges ne relevant pas de l'exploitation normale, comme les pertes exceptionnelles ou les provisions pour dépréciation.

On distingue les charges directes qui se rapportent à un seul coût et les charges indirectes qui doivent faire l'objet d'une répartition qui se fait à partir d'un découpage de l'activité en sections homogènes.

Les coûts calculés peuvent être relatifs :

— soit à une fonction ou une partie de l'entreprise,

— soit à un objet ou groupe d'objets.

Ceci permet de calculer les résultats et les marges :

Résultats = prix de vente — prix de revient.

Marges = prix de vente — coûts.

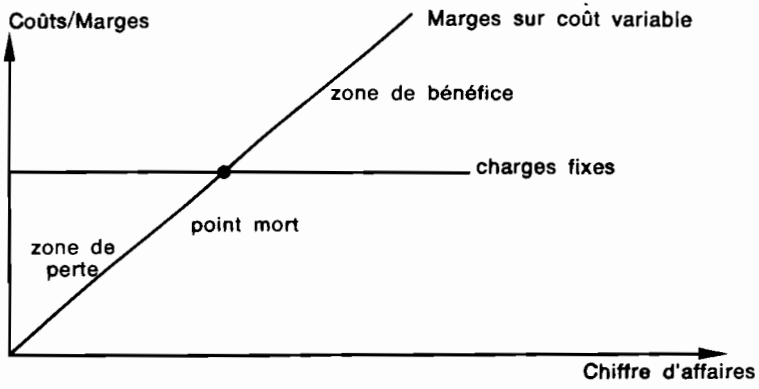
Exemples : marge sur coût de production, sur coût d'achat, ...

2.2. Coût variable moyen (direct costing)

La méthode est fondée sur la distinction entre charges variables et charges fixes. Certaines charges augmentent de manière continue, d'autres par paliers et sont considérées, à court terme, comme étant fixes.

L'équilibre de gestion est atteint lorsque la somme des marges sur coût variable est égale ou supérieure aux charges fixes.

Cette méthode est à la base du concept de point mort ou seuil de rentabilité. Le point mort est le chiffre d'affaires à partir duquel l'activité est rentable.



3. COMPTABILITÉ PRÉVISIONNELLE OU BUDGÉTAIRE

L'élaboration des budgets passe par la mise au point de prévision de coûts.

On distingue :

— les budgets d'exploitation (ventes, production, approvisionnement),

— les budgets d'investissement et de financement,

— le budget de trésorerie.

L'établissement de coûts standard est fait à partir de la comptabilité analytique d'exploitation. Les standards de l'année précédente seront réajustés en fonction de la conjoncture, des gains de productivité...

Le contrôle de gestion porte sur les écarts.

Coût réel — Coût préétabli « standard » = Ecarts.

CHAPITRE XXV

LES APPLICATIONS DE LA STATISTIQUE EN AGRICULTURE TROPICALE

Le terme « statistique » est utilisé dans deux sens différents : Il signifie tantôt les **données numériques systématiques** recueillies sur un sujet quelconque (ex. : Statistique agricole annuelle du Sénégal) : tantôt la **méthode scientifique** dont le but est l'étude des propriétés numériques des ensembles de faits.

Les applications sont multiples. On n'abordera ici, après rappel de définitions, que l'utilisation de la méthode statistique appliquée :

— aux enquêtes agricoles et démographiques
— à l'expérimentation agronomique.

1. RAPPELS THEORIQUES

1.1. Définitions

Placé devant une série statistique résultant de nombreuses observations, on éprouve le besoin de résumer ce vaste ensemble par quelques indicateurs qui le caractérisent aussi bien que possible, mais qui soient cependant en nombre suffisamment faible pour que l'esprit puisse les saisir aisément. Cette réduction de la masse des données à quelques caractéristiques, déjà nécessaire pour l'étude d'une série unique, devient indispensable pour la comparaison de plusieurs séries entre elles.

Soit une série statistique de N observations pouvant prendre k valeurs, chaque valeur x_i pouvant être observée N_i fois.

$$N = N_1 + N_2 + \ldots + N_i + \ldots + N_k$$

Trois types de caractéristiques sont utilisées :

a) **Les caractéristiques de position :**

Me) médiane : valeur Me du caractère telle que le nombre d'observations inférieures ou supérieures à Me soit le même.

M) moyenne arithmétique : la moyenne arithmétique d'une série d'observations est le quotient de leur somme par leur nombre.

$$M = \sum_{i=1}^{k} \frac{N_i x_i}{N}$$

soit, en désignant par $fi = \frac{Ni}{N}$ la fréquence des observations de x_i

$$M = \sum_{i=1}^{k} f_i \, x_i$$

La moyenne arithmétique de la variable x est aussi représentée par le symbole x.

Mo) mode : encore appelé valeur dominante, est la valeur particulière de la variable pour laquelle la fréquence est maximum.

b) **les caractéristiques de dispersion :**

ω) **intervalle de variation ou étendue de la série** (en langage courant : éventail ou fourchette) est la différence entre les valeurs extrêmes de la variable étudiée

$$\omega = (x_k - x_1)$$

Ea) écart absolu moyen : moyenne arithmétique des écarts entre les diverses observations et leur moyenne arithmétique.

$$ea = \sum_{i=1}^{k} \frac{N_i \, (x_i - \bar{x})}{N}$$

$$ea = \sum_{i=1}^{k} f_i \, (x_i - \bar{x})$$

σ^2) **variance :** moyenne arithmétique des carrés des écarts des observations par rapport à leur moyenne arithmétique.

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{N_i \, (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

σ) **écart-type :** racine carrée de la variance.

L'écart moyen présente quelques inconvénients. En particulier, le fait d'être calculé à l'aide de la valeur absolue des écarts empêche de l'utiliser de manière simple dans les calculs algébriques.

On lui préfère généralement l'écart-type qui est obtenu en considérant les carrés des écarts et est défini par la formule :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Le coefficient de dispersion le plus employé est le **coefficient de variation** défini à l'aide du rapport de l'écart-type à la moyenne et exprimé en général sous la forme d'un pourcentage .

c) **les caractéristiques de forme :**

Une distribution est dite **symétrique** si les observations sont également dispersées de part et d'autre de la valeur centrale.

Dans le cas contraire, la distribution est dite **asymétrique ou dissymétrique.**

s_1) **Coefficient de Pearson :** C'est la position du mode par rapport à la moyenne qui caractérise l'asymétrie.

$$s_1 = \frac{Mo - M}{\sigma}$$

Si ce coefficient est peu différent de 0, la distribution est approximativement symétrique; un coefficient positif indique un sommet désaxé sur la gauche, et un coefficient négatif un sommet désaxé sur la droite.

μ_R) **Moments** : moyenne arithmétique des écarts de la puissance r entre les observations et leur moyenne arithmétique.

$$\mu_R = \sum_{i=1}^{k} \frac{N_i \ (x_i - \bar{x})^r}{N}$$

Ces caractéristiques, et certains coefficients dérivés, permettent de définir, d'une façon très générale, la forme d'une distribution. Dans une distribution symétrique, notamment, les moments d'ordre impair (r = 1, 3, 5 etc.) sont tous nuls.

1.2. Distribution théorique

Nous avons vu qu'une série d'observations, ou plus précisément une distribution de fréquences, pouvait être résumée par quelques caractéristiques; celles-ci et en particulier les principales : moyenne, écart-type... constituent, certes, un ensemble de renseignements intéressants, mais qui ne sauraient épuiser toute l'information contenue dans la série. Un tel résultat ne peut être obtenu que par l'établissement de la **loi de répartition** de la variable, c'est-à-dire de la relation qui lie le nombre d'unités statistiques à la valeur de la variable.

Une loi est par définition une relation générale, s'appliquant à un grand nombre de cas. Les lois de répartition statistique ont été obtenues en classant par analogie de forme un grand nombre de séries de fréquences et en dégageant, dans chaque groupe, les traits communs caractéristiques.

On a pu alors substituer à une série observée une loi théorique, ce qui présente de nombreux avantages; la masse d'observations est remplacée par les quelques paramètres figurant dans l'expression analytique de la loi, ce qui est beaucoup plus maniable, notamment pour les comparaisons de séries — la loi théorique a des propriétés bien connues et directement utilisables — la recherche de nouvelles pro-

priétés est plus facile sur l'expression analytique de la loi théorique que sur la série des valeurs numériques observées.

Les distributions théoriques les plus fréquentes sont :

a) La loi binomiale : c'est celle qui régit une variable aléatoire susceptible de prendre les valeurs 0, 1, 2... n, les probabilités respectives de celles-ci étant les termes successifs du développement du binôme :

$$(q + p)^n \text{ avec } q + p = 1$$

Sa formule est :

$$f(x) = C_n^x \cdot p^x \cdot q^{n-x}$$

b) La loi normale, ou loi de Laplace-Gauss, ou loi Gauss. La courbe normale peut-être considérée comme la limite, dans certaines conditions, d'un histogramme représentatif de la loi binomiale dont le nombre de classes tend vers l'infini, cependant que l'intervalle de classe tend vers zéro. La courbe *de Gauss*, en cloche ou chapeau de gendarme, est bien connue. Elle passe par un maximum pour $x = \bar{x}$. La moyenne, le mode et la médiane sont confondus.

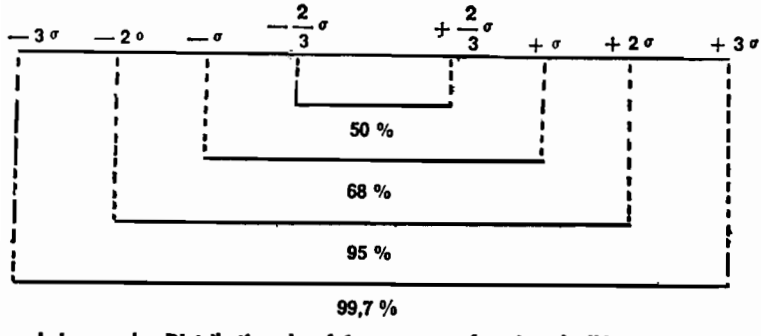
Sa formule est la suivante :

$$f(x)\ dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}\ dx$$

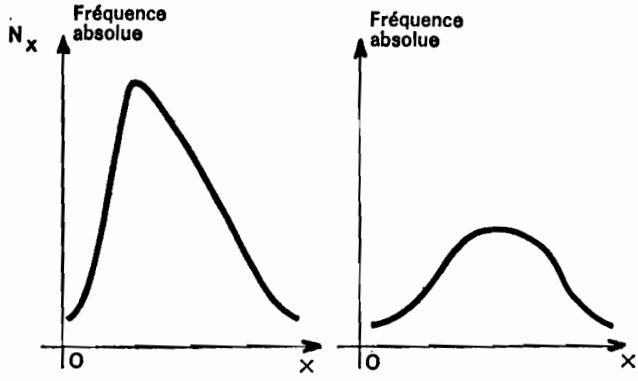
avec $e = 2{,}7183$
avec $\pi = 3{,}1416$

La loi de Gauss est entièrement déterminée quand on connaît sa moyenne $\bar{x}$ et son écart-type σ.

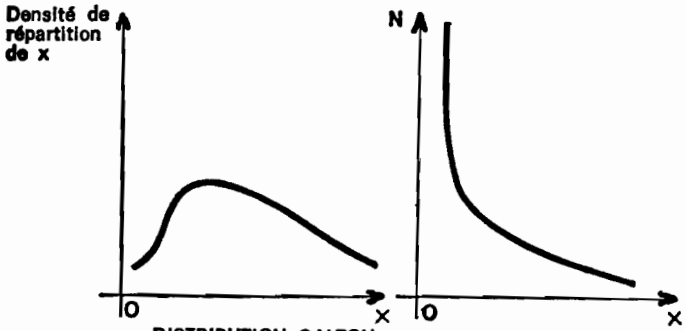
Une propriété de très grand intérêt des distributions normales est celle qui relie la valeur centrale à l'écart type : un intervalle de un écart type de part et d'autre de la moyenne contient 68 % des valeurs de x, de deux écarts types 95 %, de trois écarts types 99,7 %.



Loi normale. Distribution des fréquences en fonction de l'écart type.



DISTRIBUTION BINOMIALE DISTRIBUTION NORMALE



DISTRIBUTION GALTON MAC ALISTER

LOI DE PARETO

La loi de Gauss traduit en fait une distribution dans laquelle la variation du caractère étudié autour d'une valeur centrale serait la résultante d'un ensemble de causes multiples et indépendantes.

Notamment, (théorème central limite) la somme ou la moyenne de n variables aléatoires indépendantes, dont les lois sont à peu près quelconques, tend à être distribuée selon une loi normale, quand le nombre de ces variables augmente. Pratiquement, l'hypothèse de normalité est acceptable quand $n \geqslant 30$.

c) Il existe d'autres lois de distribution moins fréquentes :

— la distribution de Poisson, forme limite de la distribution binomiale, lorsque la probabilité de l'événement p (ou q) est très petite, et n très grand,

— la distribution de Galton-Mac-Alister qui est une distribution dérivée de la loi normale,

— la distribution hypergéométrique (tirages exhaustifs),

— la loi de Pareto.

1.3. Estimations sur échantillon

Supposons que nous désirions étudier les caractéristiques d'une « population » ou d'un « univers statistique », dont les unités soient trop nombreuses pour pouvoir toutes être observées. On se contentera alors d'étudier les caractéristiques d'un (ou plusieurs) échantillon, qui constitue une sous-population représentative de la population totale.

Pour qu'un échantillon soit vraiment « **représentatif** », il faut qu'il ait été tiré « **au hasard** », ce qui suppose des techniques de sondage appropriées. Nous nous limiterons, ici, au cas d'un sondage d'une population unique et non stratifiée.

Tout problème d'estimation sur échantillon se ramène à ceci : connaissant les caractères d'un échantillon de taille n (moyenne : m, variance : σ^2 ...), comment estimer les caractéristiques de la population mère de taille N (moyenne : M, variance σ^2...), et quelle « **confiance** » accorder à ces estimations ?

1.3.1. TIRAGES NON EXHAUSTIFS (l'unité de sondage tirée et remise dans « l'univers », peut être tirée à nouveau).

1.3.1.1. Cas des grands échantillons : $n \geqslant 30$.

a) Estimations.

D'après le théorème central limite, m moyenne de $n \geqslant 30$ variables aléatoires x_i, indépendantes et de loi quelconque, peut être considéré comme une variable aléatoire obéissant à une loi normale, dont la moyenne est la moyenne générale M.

De même, s^2, moyenne de $n \geqslant 30$ variables aléatoires $(x_i - m)^2$ suit une loi normale de moyenne σ^2.

Rappel des résultats :

Caractéristiques à estimer	Estimation	Ecart-type de l'estimation	
		Loi de la pop. mère quelconque	Loi de la pop. mère normale
M	$m = \frac{\Sigma n_i x_i}{n}$	$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$\frac{\sigma}{\sqrt{\bar{n}}}$
σ^2	$s^2 = \frac{\Sigma n_i (x_i - m)^2}{n}$	$\frac{\sqrt{\mu 4 - \mu 2}}{n}$	$\sigma^2 \sqrt{\frac{2}{n}}$

b) Intervalles de confiance.

Un « **intervalle de confiance** » est un intervalle dans lequel « il y a de grandes chances » de trouver la valeur cherchée.
A chaque « **niveau de confiance** » correspond un intervalle de confiance, mesuré en unités d'écart-type.
Le « **seuil de signification** » est en quelque sorte, une expression inverse de la confiance.

Pour une série statistique distribuée normalement, les trois notions évoquées précédemment se présentent comme suit :

Coefficient de confiance	Intervalle de confiance	Seuil de signification
99 %	2,58 σ	1 %
95 %	1,96 σ	5 %
68 %	0,99 σ	32 %
38 %	0,56 σ	62 %

Ainsi, m suivant une loi normale de moyenne M et d'écart-type $\frac{\sigma}{\sqrt{\bar{n}}}$

$$\text{Prob}\left(M - 2\frac{\sigma}{\sqrt{n}} < m < M + 2\frac{\sigma}{\sqrt{\bar{n}}} \right) = 95\ \%$$

Soit, en inversant m et M et en remplaçant σ par s (s constituant dans le cas des grands échantillons une « bonne estimation » de σ).

$$\text{Prob}\left(m - 2\frac{s}{\sqrt{n}} < M < m + 2\frac{s}{\sqrt{n}}\right) = 95\,\%$$

Donc, au niveau de confiance 95 %, M a 95 % de chances d'être compris dans l'intervalle.

$$\left[m - 2\frac{s}{\sqrt{n}} \ , \ m + 2\frac{s}{\sqrt{n}}\right]$$

On détermine de la même façon un intervalle de confiance pour σ^2.

1.3.1.2. Cas des petits échantillons : $n \leqslant 30$.

Rappel des résultats :

Paramètre à estimer	Estimation	Intervalle de confiance (pop. mère normale)	
		σ connu	σ inconnu
M	$m = \Sigma \frac{n_i x_i}{n}$	$\left[m - 2\frac{\sigma}{\sqrt{n}}, m + 2\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right]$	$\left[m - t_{0,025}\frac{s}{\sqrt{n}} \ m + t_{0,025}\frac{s}{\sqrt{n}}\right]$
σ^2	$s^2 = \Sigma \frac{n_i (x_i - m)^2}{n - 1}$		$\left[\frac{(N-1)s^2}{\chi^2_{0,025}} \quad \frac{(N-1)s^2}{\chi^2_{0,975}}\right]$

a) Estimations

— de M (idem grands échantillons)

— de σ^2 : le fait de retrancher une unité au dénominateur compense l'erreur systématique introduite en remplaçant M par son estimation m au numérateur (erreur faible pour les grands échantillons).

b) Intervalles de confiance

Dans le cas des petits échantillons, le théorème central limite ne s'applique plus. **On se restreint au cas où la population mère est normale.** Dans cette hypothèse : (comme pour les grands échantillons).

m suit une loi normale de moyenne M et d'écart-type $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

s^2 suit une loi normale de moyenne σ^2 et d'écart-type $\sigma^2\sqrt{\frac{2}{n}}$

• Si on connaît σ, on peut encadrer M comme indiqué dans le tableau au niveau de confiance 95 %.

• Si σ est inconnu : du fait de l'imprécision portant sur l'estimation de σ à partir d'un petit nombre d'unités statistiques, on ne peut, comme pour les grands échantillons, sous peine de conclusions erronées, remplacer σ par s.

On a recours alors à la loi de Student dont l'utilisation est la suivante :

— On calcule m et s
— On évalue $\nu = n-1$ (nombre de degrés de liberté)
— On lit sur la table de distribution de t la valeur de t 0,025 au seuil P = 0,05. (voir table, page 1429).
— On encadre M comme indiqué dans le tableau.

De même, on encadre σ^2 avec une probabilité de 95 % grâce à la loi de χ^2 dont l'utilisation est la suivante :

— On calcule s^2
— On évalue $\nu = n-1$ (nombre de degrés de liberté).
— On lit sur la table de distribution de χ^2 les valeurs de χ^2 correspondant à ν, et aux seuils $p = 0{,}975$ et $p = 0{,}025$ (voir table, page 1430).
— On encadre σ^2 comme indiqué dans le tableau.

1.3.2. TIRAGES EXHAUSTIFS (l'unité de sondage ne peut être tirée qu'une seule fois).

Dans la pratique, le plus souvent, les unités de l'échantillon sont tirées :
— soit successivement sans remise en jeu;
— soit simultanément.

Dans les deux cas, il s'agit d'un tirage « exhaustif » qui modifie la composition de la population mère.

Le calcul montre que l'écart-type de la moyenne n'est plus $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ comme dans un tirage non exhaustif, mais

$$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\sqrt{1-\frac{n}{N}}$$

Il est donc plus faible et permet donc de « serrer » davantage la valeur M.

Conséquences pratiques :

• Pour une **fraction de sondage** $\frac{n}{N} < \frac{1}{20}$, on peut négliger le terme correctif (erreur introduite par excès de 2,5 %).

• Pour une fraction de sondage plus élevée, on peut substituer à un échantillon exhaustif d'effectif n', un échantillon non exhaustif d'effectif virtuel n, déterminé par :

$$n = n' \frac{N}{N-n'}$$

et poursuivre les calculs comme précédemment.

Néanmoins ce procédé n'est pas valable pour l'exploitation des petits échantillons. Dans ce cas le caractère d'exhaustivité de l'échantillon ne pourra être négligé que pour une fraction de sondage suffisamment petite (cas général).

1.4. Tests d'hypothèse

Ils consistent à vérifier sur un (ou des) échantillon, une hypothèse portant sur les caractéristiques ou les propriétés de la (ou des) population mère.

1.4.1. COMPARAISON DES PARAMETRES

La solution des problèmes de comparaison des paramètres de deux distributions (moyenne ou variance) consiste à **tester l'hypothèse nulle Ho,** c'est-à-dire affirmer ou infirmer que la différence observée entre les deux paramètres — soit par exemple d à sa valeur théorique T — ne soit que le fait du hasard d'échantillonnage. L'hypothèse nulle étant supposée vraie, on détermine à partir de la loi de probabilité de d, les limites entre lesquelles cette valeur devrait se trouver avec une probabilité 1-P. Si d tombe entre ces limites, on accepte l'hypothèse nulle, sinon, on la rejette. Ainsi appelle-t-on l'intervalle compris entre ces limites **« domaine ou intervalle d'acceptation »** à 1-P, et l'extérieur **« domaine de rejet ».**

Lorsque d tombe hors de l'intervalle d'acceptation on dit que les deux paramètres **diffèrent significativement.** Quant à la probabilité P de voir tomber d hors de l'intervalle d'acceptation l'hypothèse nulle étant vraie, elle est appelée **niveau de signification du test.**

a) *Comparaison d'une caractéristique D (M ou σ) de la population mère à une valeur théorique T.*

— Hypothèse nulle : $D = T$.
— Valeur observée : d (m ou s).
— Calcul de l'écart-type σ_d de l'observation (voir les différents cas du § 13).
— Domaine d'acceptation : $[T - 2\sigma_d,\ T + 2\sigma_d]$ à $P = 0{,}05$.

Remarque : Pour les comparaisons de variance, on se limite au cas de populations mères à distribution normale.

b) Comparaison des moyennes de deux populations différentes.

1er échantillon : Pop. mère (M, σ) : m suit une loi normale $\left(M, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$

2e échantillon : Pop. mère (M', σ') : m' suit une loi normale $\left(M', \frac{\sigma'}{\sqrt{n'}}\right)$

$$H_o : M = M'$$

— Valeur observée :

$$d = m - m' : \text{suit une loi normale } \left(M - M', \frac{\sigma}{\sqrt{n}} + \frac{\sigma'}{\sqrt{n'}}\right)$$

— Si H_o vrai, d suit une loi normale $\left(0, \frac{\sigma}{\sqrt{n}} + \frac{\sigma'}{\sqrt{n'}}\right)$

— Domaine d'acceptation : $\left[-2\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} + \frac{\sigma'}{\sqrt{n'}}\right), +2\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} + \frac{\sigma'}{\sqrt{n'}}\right)\right]$

— Conditions d'applications :
  — Grands échantillons (σ et σ' peuvent être remplacés par s et s')
  — Petits échantillons (σ et σ' connus et populations mères à distribution normale).

c) Comparaison des variances de deux populations différentes.
(Analyse de variances).

— Conditions d'application : populations mères à distribution normale

— $H_o : \sigma^2 = \sigma'^2$

— Valeur observée : $d = \frac{s^2}{s'^2}$

— Si H_o vrai, $\frac{s^2}{s'^2} = F$ suit une loi, dite loi de F, qui ne dépend que de N et N'

— Domaine d'acceptation $[F_{0,95}, F_{0,05}]$

— Utilisation de la loi de F :
  — On calcule s^2 et s'^2
  — on évalue $\nu = n - 1$ et $\nu' = n' - 1$ (2 sortes de degrés de liberté)
  — on lit sur la table de Fischer - Snedecor la valeur de F 0,05 correspondant à ν et ν' pour $P = 0,05$ (voir table pages 1432 à 1437)
  — on calcul $F_{0,95}(\nu, \nu') = \frac{1}{F_{0,05}(\nu, \nu')}$
  — on regarde si d est compris dans le domaine d'acceptation.

1.4.2. COMPARAISON DE DISTRIBUTIONS

Le but est, en comparant plusieurs distributions de fréquences considérées comme des échantillons, de déterminer si les ensembles dont elles proviennent peuvent être considérés comme répartis suivant une même loi. Le principe du test sur une distribution est le même que celui d'une hypothèse sur un paramètre. Tenant l'hypothèse comme vraie, on calcule la probabilité d'écarts aussi grands ou plus grands que ceux constatés entre distribution empirique et théorique. Suivant la valeur de cette probabilité on admet que les écarts constatés peuvent être dus au hasard, et l'on accepte l'hypothèse, ou on les tient pour trop exceptionnels et on les rejette.

La comparaison simultanée de deux ou plusieurs distributions de fréquence se fait par le test du χ^2.

Le calcul de χ^2 se fait de la façon suivante :

— dans chacune des classes, on note le nombre d'observations effectuées n_i et on calcule l'effectif théorique n'_i en fonction de la loi de distribution que l'on a choisie : $n'_i = n\ F_i$ (n : nombre total d'observations; F_i : fréquence théorique).

En aucun cas n'_i ne doit être inférieur à 5. Dans le cas contraire, on pourra opérer des regroupements de classes (l'amplitude des classes n'est pas nécessairement la même).

— On calcule pour chaque classe le rapport du carré de l'écart entre le nombre des observations effectives et le nombre des observations théoriques, au nombre des observations théoriques.

$$\text{soit : } \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i}$$

— La somme des rapports précédents donne la valeur de χ^2

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i} \quad (k = \text{nombre de classes})$$

Une table de distribution de χ^2 (loi de K. Pearson) indique alors, pour un seuil de probabilité donné, la valeur maximum que peut atteindre le χ^2 calculé pour que l'hypothèse faite sur la loi de distribution ne soit pas infirmée (voir tables pages 1430 et 1431).

χ^2 est fonction de $\nu = k - 1 - r$ (nombre de degrés de liberté) où r représente le nombre de paramètres qu'on a dû estimer pour achever de définir la loi de distribution théorique ($r = 2$ si M et σ ont dû être estimés).

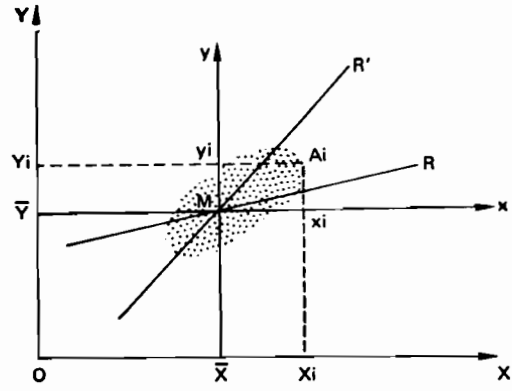
1.5. Dépendance statistique - Corrélation

Il existe une corrélation entre deux séries statistiques lorsqu'on observe entre elles une certaine liaison. La corrélation est intermédiaire entre l'indépendance absolue de deux phénomènes et la liaison étroite ou relation fonctionnelle.

1.5.1. AJUSTEMENT LINEAIRE

a) Droites de régression

— Soit une série d'observations présentant deux caractères distincts mesurables X_i et Y_i.
Les points A_i représentatifs des différents couples (X_i, Y_i), rapportés à un système d'axes de coordonnées (X, Y), constituent un « nuage de points » qui, dans le cas présent, suggère par son orientation qu'il existe une corrélation de type linéaire plus ou moins lâche entre X et Y.



Soit M $(\overline{X}, \overline{Y})$ le point représentatif des moyennes arithmétiques des X_i et des Y_i. Déplaçons l'origine du système de coordonnées en M, comme indiqué sur la figure, et appelons x_i et y_i les **variables centrées sur les moyennes** X et Y.

$$x_i = X_i - \overline{X} \qquad \text{et} \qquad y_i = Y_i - \overline{Y}$$

— on appelle « **droite de régression** » R de Y en X la droite dont la **somme des carrés des écarts** aux divers points A_i est minimale, ces écarts étant comptés parallèlement à 0y. On démontre que R passe par le point M $(\overline{X}, \overline{Y})$ et a pour pente par rapport à OX :

$a = \dfrac{\Sigma\, x_i\, y_i}{\Sigma\, x_i^2}$ (encore appelé coefficient de régression de Y en X).

R a donc pour formule : $y' = a\,x$

— R fournit donc une estimation y′ de y lorsque x (soit X) est considéré comme exactement connu. Adopter cette droite comme schématisation du nuage de points revient à imputer à Y la totalité de l'indétermination qui affecte la liaison entre X et Y. (Cette indétermination étant appréciée par la somme des carrés des écarts $\Sigma e^2 = \Sigma\ (y'_i - y_i)^2$.

Par contre, si on impute à X la totalité de l'indétermination, on adoptera la droite de régression R′ de X en Y qui rend minimale la somme des carrés des écarts $\Sigma e'^2 = \Sigma\ (x'_i - x_i)^2$ comptée parallèlement à OX.

R′ passe également par M $(\overline{X}, \overline{Y})$ et a pour pente par rapport à 0Y :

$a' = \dfrac{\Sigma\, x_i\, y_i}{\Sigma\, y_i^2}$ (encore appelé coefficient de régression de X en Y)

R′ a donc pour formule : $y = \dfrac{1}{a'}\,x'$

b) Coefficient de corrélation.

Pour que les deux droites R et R′ soient confondues, il faut et il suffit que a a′ = 1, soit que la quantité $r^2 = \frac{(\Sigma x_i y_i)^2}{\Sigma x_i^2 \Sigma y_i^2}$ soit égale à 1.

D'autre part, on démontre que : $\Sigma e^2 = \Sigma y_i^2 (1 - r^2)$

$$\Sigma e'^2 = \Sigma x_i^2 (1 - r^2)$$

Donc si $r = \pm 1$, on obtient une droite de régression unique, et la somme des carrés des écarts à cette droite devient nulle. Tous les points sont donc alignés le long de cette droite : il s'agit d'une liaison rigide.

Le coefficient : $\boxed{r = \frac{\Sigma x_i y_i}{\sqrt{\Sigma x_i^2 \Sigma y_i^2}}}$ est appelé **« coefficient de corrélation »**

Il exprime l'intensité de la liaison linéaire entre 2 variables X et Y :

$r = \pm 1$ indique une liaison rigide positive ou négative.

$0 < r < 1$ indique une corrélation positive d'autant plus marquée que r est voisin de 1

$-1 < r < 0$ indique une corrélation négative d'autant plus marquée que r est voisin de -1.

Au cas où le coefficient de corrélation entre deux variables X et Y a été estimé sur un échantillon de n couples X, Y, pris au hasard, il est indispensable de vérifier si cette valeur, compte tenu de l'importance n de l'échantillon, est significative. Un abaque (issu des travaux de Fisher) permet de résoudre ce problème (voir page suivante).

- Porter sur l'échelle de gauche la valeur de r calculée (point A),
- Porter sur l'échelle de droite les deux points B′ et B″ correspondant à la valeur de n,
- En joignant AB′ et AB″, on délimite sur l'échelle du milieu la zone c′ c″ dans laquelle se trouve la vraie valeur de r avec une probabilité de 95 %.

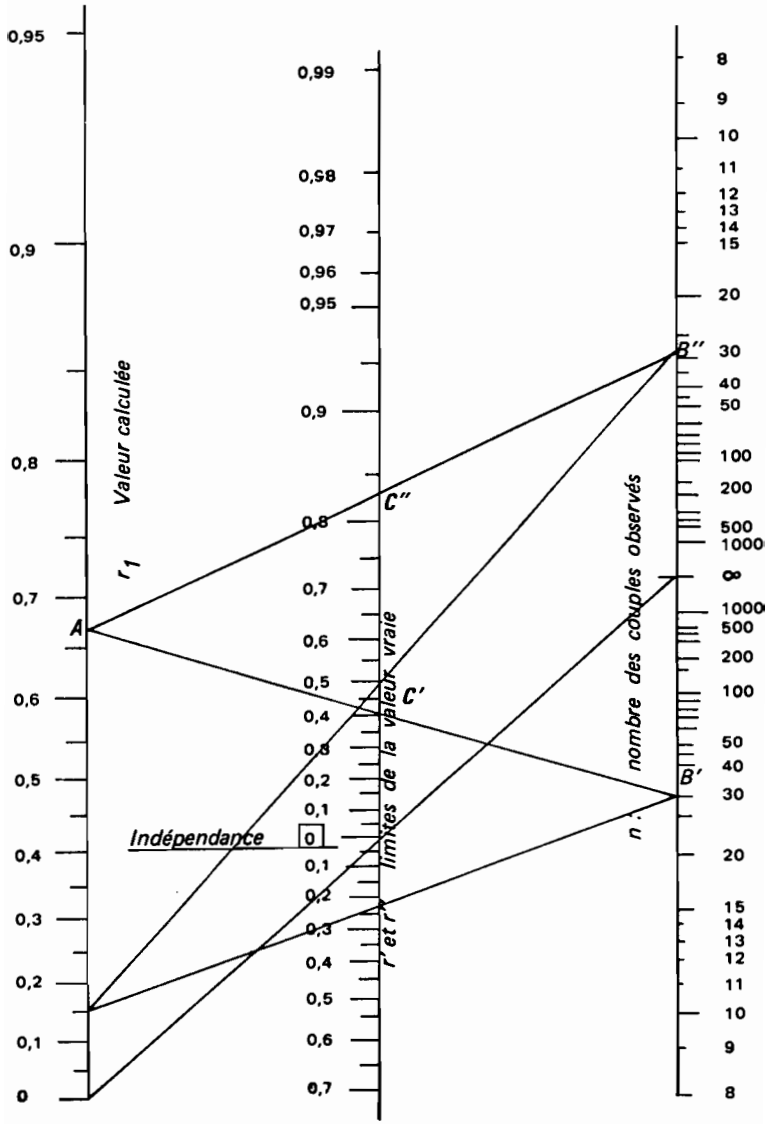
Si cette zone englobe la valeur o, les trois hypothèses de corrélation négative, de corrélation positive et d'indépendance sont possibles : la mesure n'est pas significative.

1.5.2. AJUSTEMENTS NON LINEAIRES

La liaison entre deux caractères peut ne pas être linéaire : l'ajustement d'une fonction quelconque Y = F (x) à un ensemble de points observés est théoriquement possible, mais conduit souvent à des calculs compliqués. On se borne généralement à l'ajustement parabolique et aux ajustements curvilignes qui peuvent se ramener à un ajustement linéaire (cas des liaisons exponentielles de type $Y = B A^x$ ou $Y = B X^a$).

ABAQUE DE FISHER

(pour apprécier la signification de r)



Zone d'indétermination du coefficient de corrélation

1.5.3. LIAISON LINEAIRE ENTRE PLUSIEURS VARIABLES

Lorsque chaque observation porte sur 3 variables (ou plus), l'ajustement peut se faire par un plan d'estimation (ou un hyperplan). Le **coefficient de corrélation multiple** mesure la qualité de l'ajustement des points observés au plan d'estimation. Le **coefficient de corrélation partielle** entre deux des variables mesure leur liaison, abstraction faite de la variabilité des autres. Parmi les applications des calculs de corrélation, on peut citer l'**analyse factorielle.**

2. LES ENQUETES STATISTIQUES

2.1. Généralités

La nécessité d'une connaissance chiffrée, précise et sûre de la réalité économique et sociale se fait de plus en plus sentir pour la réalisation des plans de développement nationaux.

Une partie des besoins peut être satisfaite par la recherche des statistiques administratives qui sont, soit dues à l'activité directe de certains services, soit le sous-produit de l'activité normale d'autres services.

Dans d'autres cas cependant le renseignement ne peut être obtenu que par une enquête particulière. Deux méthodes alors peuvent être utilisées. Une première méthode consiste à étudier successivement toutes les unités de la population c'est la méthode du recensement ou du dénombrement. Une seconde méthode consiste à prélever quelques unités seulement de la population à étudier, et à extrapoler à l'ensemble de cette population les résultats trouvés sur cet échantillon : c'est la méthode de l'enquête par sondage. Il est bien évident que dans le second cas les résultats obtenus seront bons ou mauvais selon que l'échantillon sera représentatif ou non de l'ensemble à étudier.

Le choix de la méthode : recensement ou enquête par sondage dépend des crédits prévus pour l'opération, de sa possibilité pratique d'exécution et bien entendu du degré de précision que l'on désire.

On procède en général à des enquêtes par sondage dans trois domaines essentiels : la démographie, l'agriculture, les budgets/consommations.

a) L'enquête démographique a pour objet entre autres : le dénombrement des personnes par sexe, par âge, par ethnie, et par profession — le calcul des taux de natalité, de fécondité, de mortalité, d'accroissement — l'étude des structures familiales : ménages, concessions — l'étude de l'activité de la population — les mouvements migratoires;

b) l'enquête agricole cherche en général à appréhender deux catégories de données :

— les structures des exploitations : nombre d'exploitations, population totale, population active, main-d'œuvre salariée, superficie des exploitations et mode de faire-valoir, superficie des différentes cultures et association de cultures, âge des plantations arbustives, techniques culturales, matériel, bétail...

— la production des différentes cultures, par l'étude des rendements et de leur variabilité en fonction de l'âge (plantations), de la densité, des aménagements...

c) l'enquête budget/consommation cherche à estimer la structure des budgets, l'origine des ressources monétaires ou non, l'affectation et l'importance des dépenses monétaires ou non...

La chronologie à respecter est la suivante : enquête démographique, enquête agricole, enquête budget/consommation

2.2. Les enquêtes par sondage

2.2.1. NOTIONS ESSENTIELLES SUR LE SONDAGE

La méthode des sondages a pour but de déterminer un échantillon qui soit une photographie en réduction de l'ensemble que l'on cherche à étudier. Si cet échantillon est « représentatif » de cet ensemble on pourra alors extrapoler à la population toute entière les renseignements obtenus à partir de cet échantillon seulement. C'est à ce stade que s'opposent l'échantillon par choix raisonné et l'échantillon aléatoire.

2.2.1.1. L'échantillon par choix raisonné

Cette méthode consiste à choisir un échantillon dont les principales caractéristiques, en corrélation avec le facteur inconnu recherché, soient identiques à celles de la population totale. Cette méthode présente toutefois quatre difficultés importantes :

— elle nécessite une documentation initiale précise et actuelle
— il faut créer l'échantillon de toutes pièces
— tout calcul d'erreur est impossible
— enfin l'échantillon peut être représentatif vis-à-vis des éléments retenus, mais non vis-à-vis de celui recherché.

2.2.1.2. L'échantillon probabiliste

L'échantillon est constitué en faisant appel à un procédé mécanique indépendant de l'expérimentation, le hasard étant seul responsable de la constitution de l'échantillon.

Cette méthode d'échantillonnage permet de préciser l'erreur probable c'est-à-dire la marge d'erreur que l'on doit s'attendre à commettre au maximum et ceci naturellement moyennant un certain degré de certitude (par exemple 95 chances sur 100). Rappelons que dans cette méthode la précision croît proportionnellement à la racine carrée du nombre des observations.

1) La base de sondage

L'ensemble de la population inconnue est couramment appelé univers et le document sur lequel s'effectue le tirage s'appelle la base de sondage. Les éléments que comporte cette base et qui y sont énumérés sont les unités de sondage.

Le rapport du nombre des unités « tirées au sort » au nombre total des unités s'appelle la fraction de sondage.

Une base de sondage doit être complète, sans omission, ni double emploi.

La fraction de sondage doit être d'autant plus importante que l'univers est plus hétérogène.

2) La stratification

La stratification a pour but de découper l'univers en sous-ensembles plus homogènes (ou strates) à tirer parmi ces strates des échantillons distincts, puis à réunir ensuite tous ces échantillons pour obtenir l'estimation cherchée pour l'ensemble de l'univers.

La stratification peut être encore plus poussée et chaque strate divisée à son tour en sous-strates selon un autre critère. Dans tous les cas la stratification améliore la précision du sondage.

3) Les différents procédés de sondage

a — Sondage à un degré

Si chaque unité a une chance égale d'être tirée (1) on a alors un sondage à probabilité égale.

Si chaque unité a une chance d'être tirée proportionnellement à l'importance de l'unité statistique élémentaire, le tirage n'est plus à probabilité égale (exemple : tirage de villages proportionnellement à leur population).

b — Sondage à plusieurs degrés

Le sondage à plusieurs degrés consiste à tirer dans la base de sondage un premier échantillon constitué « d'unités primaires » puis à l'intérieur de ce premier échantillon on établira une deuxième base de sondage à l'intérieur de laquelle on tirera les « unités secondaires », puis les « unités du 3e degré ». Ainsi, en général dans une enquête agricole :

— les villages de l'univers constitueront la base de sondage dans laquelle seront tirés les villages de l'échantillon « unité primaire ».

— puis, au sein des villages échantillons on dressera la liste des chefs d'exploitation parmi lesquels on tirera l'échantillon d'unité secondaire.

— dans toutes les exploitations ainsi tirées on établira la liste des champs parmi lesquels on tirera un échantillon d'unité du 3e ordre.

Le sondage à plusieurs degrés permet en général une économie de moyens puisqu'il réduit par exemple dans une enquête agricole le nombre de villages à visiter, donc les déplacements.

---

(1) Pratiquement le tirage dans un sondage probabiliste se fait à partir d'une table de nombres au hasard.

TABLE DE NOMBRES ALEATOIRES

Deux chiffres

Numéros de lignes	Numéros de colonnes															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	51	86	32	68	92	33	98	74	66	99	40	14	71	94	58	45
2	35	91	70	29	13	80	03	54	07	27	96	94	78	32	66	50
3	37	71	67	95	13	20	04	44	95	94	64	85	04	05	72	01
4	93	66	13	83	27	92	79	64	64	72	28	54	96	53	84	48
5	02	96	08	45	65	13	05	00	41	84	93	07	54	72	59	21
6	49	88	43	48	35	82	88	33	69	96	72	36	04	19	76	47
7	84	60	71	62	46	40	80	81	30	37	34	39	23	05	38	25
8	18	17	30	88	71	44	91	14	88	47	89	23	30	63	15	56
9	79	69	10	61	78	71	32	76	95	62	87	00	22	58	40	92
10	75	93	36	57	83	56	20	14	82	11	74	21	97	90	65	96
11	38	30	92	29	03	06	28	81	39	38	62	25	06	84	63	61
13	59	21	50	10	34	31	57	75	95	80	51	97	02	74	77	76
13	21	31	38	86	24	37	79	81	53	74	73	24	16	10	33	52
14	29	01	23	87	88	58	02	39	37	67	42	10	14	20	92	16
15	95	33	95	22	00	18	74	72	00	18	38	79	58	69	32	81
16	90	84	60	79	80	24	36	59	87	38	82	02	53	89	35	96
17	46	40	62	98	82	54	97	20	56	97	15	74	80	08	32	16
18	20	31	89	03	43	38	46	82	68	72	32	14	82	99	70	80
19	71	59	73	05	50	08	22	23	71	77	91	01	93	20	49	82
20	22	22	47	77	62	28	47	64	81	04	35	63	51	38	27	99
21	17	57	19	32	74	06	47	97	21	05	07	76	55	70	44	53
22	68	51	36	77	16	24	25	67	99	69	44	35	34	96	69	93
23	65	61	27	09	77	25	78	63	21	30	75	87	57	92	66	61
24	84	09	59	85	23	93	43	99	03	16	47	03	72	52	92	28
25	68	43	46	52	02	16	76	61	28	09	93	04	69	06	19	52
	1		2		3		4		5		6		7		8	

c — Sondage en grappe

Le sondage en grappe est voisin du sondage à deux degrés. Il consiste à rattacher à une unité échantillon tirée au hasard d'autres unités échantillons dont le mode d'obtention est défini de façon précise. Ainsi par exemple on peut faire des prélèvements de récolte dans des champs échantillons tirés au hasard ainsi que dans 3 champs contigus au champ tiré.

d — Sondages aréolaires

Les sondages précédents se faisaient à partir de listes. Dans le sondage aréolaire la base de sondage est géographique ou topographique et l'on tire dans cette base après l'avoir décomposée en aires élémentaires, les unités échantillons.

e — Sondages linéaires

Ils nécessitent également une base topographique mais il n'est pas utile que cette base soit décomposée en aires constituantes. Le sondage linéaire consiste en la réalisation de cheminements parallèles sur le terrain dans une direction aléatoire et à la description le long de ces cheminements du caractère étudié (par exemple : type de sol et utilisation).

2.2.2. REALISATION D'UNE ENQUETE PAR SONDAGE

Une enquête par sondage se décompose en trois phases bien distinctes
— phase préparatoire
— collecte de renseignement sur le terrain et contrôle
— exploitation des résultats : dépouillement et interprétation.

2.2.2.1. Phase préparatoire

La phase préparatoire comprend :

a) Détermination des buts de l'enquête.

Ce fait paraît évident et l'expérience montre que l'une des conditions de succès d'une enquête est que ses objectifs aient été préalablement fixés avec précision. La préparation d'une enquête ne saurait donc se concevoir avant que l'accord se soit fait entre utilisateurs et réalisateurs sur le but exact de l'opération. Il ne faut pas perdre de vue aussi que dans les enquêtes par sondage, les résultats cessent assez rapidement d'être significatifs au fur et à mesure qu'on les rapporte à des zones de moins en moins importantes.

b) Définition de l'unité de sondage

La définition de l'unité de sondage dépend bien entendu du but de l'enquête mais elle laisse cependant subsister certaines possibilités de choix permettant d'inclure ou d'omettre des catégories secondaires. En excluant de l'enquête des catégories marginales de peu d'importance on pourra souvent réduire de façon importante les difficultés matérielles de rassemblement des données sans amoindrir sérieusement la valeur des résultats.

Ainsi la définition de l'exploitation agricole en France au Recensement Général de l'Agriculture de 1956 exclut du champ de l'étude les exploitations de moins de 1 ha en polyculture et de moins de 20 ares en culture spécialisée.

L'unité de sondage ainsi définie devra en outre être délimitée dans le temps et dans l'espace.

c) Détermination des informations à recueillir.

Le problème est celui du choix des informations permettant d'arriver au but que l'on s'est fixé. Pour y arriver il convient de déterminer le détail des renseignements nécessaires pour résoudre le problème posé et pour cela il est nécessaire de travailler en collaboration avec des experts du sujet qu'on se propose d'étudier. Les projets d'enquête doivent donc être portés à la connaissance des différentes organisations et des individus qui seront probablement intéressés par les résultats. Cette procédure conduit à l'introduction de questions supplémentaires qui peuvent augmenter l'unité de l'enquête. D'un autre côté on doit se garder de surcharger l'enquête par un trop grand nombre de questions et par conséquent toutes les demandes doivent être étudiées avec le plus grand soin.

d) Choix de la méthode à employer.

Les méthodes de collecte des renseignements recherchés sont déterminées dans une large mesure par la nature des éléments soumis à l'enquête et par le type d'information recherchée. On peut poser comme règle générale que des observations sont préférables à des questions et que des questions sur des faits ou sur des activités passées sont préférables à des questions sur des généralités ou sur une conduite future hypothétique.

Les questionnaires peuvent être préparés, soit pour être remplis par les enquêtés avec peu ou pas d'aide des enquêteurs, soit pour être remplis par les enquêteurs au moyen de questions posées aux enquêtés. Les questionnaires qui doivent être remplis par l'enquêté peuvent être adressés et retournés par la poste, adressés par la poste et collectés par un enquêteur ou vice versa, ou donnés et collectés par un enquêteur. La méthode à utiliser dépendra dans une large mesure des circonstances locales.

Il convient également de porter toute son attention sur la manière dont sont rédigées les questions et l'ordre dans lequel elles sont présentées.

e) Choix d'une base ou construction d'une base lorsqu'il n'en existe pas.

Toute la structure d'une enquête par sondage est déterminée dans une large mesure par la base de sondage. Les bases de sondage peuvent présenter divers défauts. Une base peut être inexacte, être incomplète, présenter des répétitions, ne pas être appropriée ou être périmée. Dans tous les cas ces défauts devront être décelés par un examen méticuleux et la base de sondage devra être rectifiée par un travail sur le terrain. S'il n'existe pas de base, la constitution d'une base adaptée aux buts de l'enquête peut parfaite-

ment représenter une importante partie du travail nécessité par l'enquête.

Les bases utilisables varient selon le type d'enquête effectuée.

Les plus utilisées sont :

— pour les études démographiques :
  — liste des individus constituant la population ou une partie de celle-ci préparée pour des fins administratives.
  — collection de documents de recensement provenant d'un recensement complet.
  — liste des logements ou ménages dans des circonscriptions données.
  — plan des villes ou cartes de zones rurales.
  — liste des villes, villages, circonscriptions administratives.
— pour les enquêtes agricoles :
  — liste des exploitations
  — carte précise à grande échelle ou à défaut photographie aérienne.

f) Choix du type d'échantillon, de la taille de l'échantillon et méthode de tirage des unités de l'échantillon.

Le choix du type de l'échantillon et de sa taille pour obtenir une précision déterminée dépend de la variabilité des caractéristiques à étudier et de la mesure dans laquelle il est possible d'éliminer, de l'erreur d'échantillonnage, les divers composants de cette variabilité. La taille de l'échantillon pour un degré de précision donnée résulte de l'application de la règle suivante :

— les écarts-types des estimations provenant d'échantillons de différentes grandeurs, tirés au hasard à partir de la même population sont inversement proportionnels aux racines carrées des nombres d'unités comprises dans les échantillons. Réciproquement pour réduire les écarts-types des résultats dans un rapport donné il faut multiplier l'effectif de l'échantillon par le carré de ce rapport, ainsi pour réduire de moitié les écarts-types des résultats, il faut multiplier l'effectif de l'échantillon par 4.

En ce qui concerne le choix du type d'échantillon, les règles générales rappelées ci-dessous peuvent être utiles :

— l'utilisation d'une stratification, d'une fraction sondée variable ou d'informations supplémentaires, augmente la précision.

Par conséquent, le calcul du nombre d'unités nécessaires dans le cas d'un sondage au hasard fournit une limite supérieure du nombre d'unités nécessaires dans toute forme convenable de sondage utilisant les mêmes unités d'échantillonnage.

— la stratification n'accroîtra d'une manière substantielle la précision que s'il y a d'importantes différences entre les strates.

— une fraction sondée variable peut accroître la précision dans de grandes proportions lorsque les unités sont de tailles très variables ou plus généralement lorsque la variabilité est très différente entre les strates.

— la stratification peut être d'autant plus poussée que l'échantillon global est plus grand.

Ces règles fournissent des indications. La décision finale relative au type de sondage à adopter dépend nécessairement de la précision relative des différentes méthodes et de leur coût relatif.

g) Enquête pilote

Sur de nombreux points il n'est possible de parvenir à des décisions définitives correctes qu'après d'importantes investigations préliminaires. Ce sont les enquêtes-pilotes qui ont pour objectifs principaux de :

— fournir des renseignements sur les différentes composantes de la variabilité des caractères à étudier dans la population.

— mettre au point l'organisation pratique de l'enquête sur le terrain, procéder à l'essai des questionnaires et à l'entraînement des enquêteurs.

— fournir des données permettant d'étudier les composantes du coût des différentes opérations de l'enquête.

— permettre la détermination du type et de la taille des unités de sondage les mieux appropriées.

2.2.2.2. Collecte des renseignements sur le terrain et contrôle

Les diverses phases du travail qui suivent la période de préparation peuvent être d'une façon générale classées comme suit :

a) **Etablissement des questionnaires**

Les questionnaires constituent les pièces maîtresses de l'enquête et doivent être conçus avec le maximum de soin. Ils doivent être composés de manière à faciliter au maximum ces deux catégories de travaux : d'une part collecte de données, d'autre part exploitation de celles-ci.

Le choix du modèle et la rédaction du questionnaire doivent s'inspirer des considérations ci-après :

— le questionnaire doit être maniable.

— le questionnaire doit être clair, avec des lignes et des colonnes tracées à l'avance et une place suffisante dans chaque case pour l'inscription des indications qui doivent y être portées.

— certaines questions pourront se recouper afin de pouvoir instantanément contrôler la cohérence des réponses, et, le cas échéant, détecter et faire corriger des inexactitudes.

— les questions doivent être présentées dans un ordre logique, c'est-à-dire que leur succession s'effectue de façon normale sur le plan psychologique.

— les transcriptions doivent être simplifiées au maximum.

— la pratique du précodage est par contre à déconseiller car elle est souvent source d'erreurs. Il est préférable de faire porter les

indications « en clair » de façon que l'enquêteur se rende compte réellement de ce qu'il écrit et afin de ne pas ajouter une difficulté supplémentaire à un travail déjà délicat.

— des instructions doivent accompagner le questionnaire et prévoir tous les points incertains ou équivoques possibles.

On devra apporter une très grande attention aux termes exacts des questions et des instructions explicatives pour qu'il n'y ait aucun doute dans l'esprit de la personne soumise à l'enquête.

b) **Choix et formation des enquêteurs**

Il n'est pas nécessaire de souligner l'importance de cette question. Dans un pays en voie de développement en particulier, toute la valeur d'une enquête repose finalement sur la conscience, l'intelligence et la patience du personnel chargé de l'exécuter.

Le recrutement des enquêteurs tiendra compte de leur niveau d'instruction, de leur présentation générale et éventuellement de leur groupe ethnique.

La formation des enquêteurs comporte :

— un enseignement général sur les objectifs de l'enquête, les méthodes...

— une spécialisation en salle initiant les enquêteurs aux questionnaires et aux différents types de relevés.

— un entraînement sur le terrain.

c) **Contrôle des relevés sur le terrain**

Les opérations de contrôle des relevés dans une enquête statistique sont primordiales. Elles sont non seulement une condition de succès de l'investigation mais aussi une condition de confiance dans les résultats. Elles permettent de se rendre compte de la valeur générale des travaux et des faiblesses particulières des relevés de détail. Les contrôles doivent être réguliers et fréquents, ce qui permettra par ailleurs de compléter éventuellement au fur et à mesure les instructions.

Le contrôle des questions est le plus difficile. Il a pour but de rechercher les erreurs systématiques ou accidentelles, les incohérences flagrantes par un contrôle de vraisemblance. En outre, le contrôleur, par des calculs rapides, devra se rendre compte si les premiers résultats obtenus diffèrent d'une manière caractéristique de données similaires déjà évaluées lors d'autres enquêtes.

Le contrôle des mesures portera sur la recherche des erreurs systématiques. Il pourra se faire soit en assistant au travail de mesure de l'enquêteur, soit en répétant les mesures susceptibles d'être refaites après coup.

Pour les mesures pour lesquelles on constate des erreurs systématiques, il y aura lieu alors de distinguer s'il s'agit d'erreurs d'interprétation des consignes de travail ou d'erreurs de mesures proprement dites par manque de soins ou d'attention. On effectuera là également un contrôle de vraisemblance.

2.2.2.3. Le dépouillement

Le dépouillement est l'ensemble des opérations qui suivront immédiatement la réalisation de l'enquête sur le terrain et qui s'étendent jusqu'à l'établissement des tableaux statistiques attendus. Ces tableaux doivent d'ailleurs avoir été définis au moment de la phase préliminaire, par les utilisateurs de l'enquête, leur contenu commandant le libellé des formulaires et questionnaires à remplir par les enquêteurs.

Le dépouillement est en général mésestimé et on pense toujours qu'il s'agit d'une opération peu coûteuse, rapide, facile dans sa conception, nécessitant donc peu de moyens et à laquelle il suffit de penser lorsque les opérations sur le terrain touchent à leur fin. Il n'en est absolument rien, les opérations de dépouillement ne constituent pas une besogne facile et de second ordre.

La méthode de dépouillement dépend du volume de l'enquête (nombre de questionnaires) et de la complexité et du nombre de tableaux attendus.

Les procédés selon lesquels on dépouille les questionnaires eux-mêmes comportent :

— le dépouillement entièrement manuel

— le dépouillement par classi-compteur ou tabulateur

— le dépouillement par machine comptable.

Les procédés selon lesquels on utilise des documents intermédiaires comportent :

— le dépouillement par fiches perforées à sélection visuelle (fiches à perforations centrales)

— le dépouillement par fiches à perforations marginales.

— le dépouillement par machine mécanographique à cartes perforées.

— le dépouillement par ensemble électronique.

2.3. Les enquêtes statistiques démographiques

2.3.1. DONNEES ET STRUCTURE DE LA POPULATION

2.3.1.1. Répartition géographique de la population.

Caractéristiques :

— Densité de population : nombre d'habitants pour une unité de surface donnée.

— Dispersion de l'habitat : étude de la répartition des unités d'habitation (villages, communes...) selon leur taille (population moyenne).

— Séparation entre zones urbaines et zones rurales : taux de population urbaine et de population rurale.

Exemple de chiffres de densité :

Nigeria	:	60	h/km²
Ghana	:	30	»
Guyane Française	:	0,4	»
Niger	:	2,5	»
Gabon	:	2,2	»
Bénin	:	17,2	»
Côte d'Ivoire	:	10,9	»
Moyenne Vallée du Sénégal	:	20-50	»
Ouémé	:	100-120	»
Rwanda	:	140	»

2.3.1.2. Répartition par sexe et par âge — Caractéristiques.

2.3.1.2.1. Population par sexe (sex - ratio).

Taux de masculinité : c'est le nombre d'hommes par rapport au nombre de femmes. Il peut être étudié globalement ou par classe d'âge.

La structure par sexe dépend de deux caractères biologiques des populations : surnatalité masculine et surmortalité masculine.

Le taux de masculinité peut être perturbé par des variations accidentelles : guerres, migrations...

2.3.1.2.2. Population par âge.

La population est classée :
— par année d'âge ou de naissance
— par groupe d'âge : tranches quinquennales ou grands groupes d'âges dans le cas de population à effectif peu nombreux.

La représentation graphique de la population suivant l'âge se traduit par une pyramide des âges.

Lorsque l'on désire interpréter une pyramide des âges, il est essentiel de savoir que le rectangle représentatif d'une classe d'âge ou d'un groupe d'âge a une longueur qui dépend de deux facteurs :
— l'importance de la réduction par mortalité (épidémies, guerres),
— l'importance des migrations.

Ces deux facteurs peuvent varier dans de larges limites. Il en résulte que les pyramides peuvent prendre des formes très différentes.

Une deuxième caractéristique des pyramides est la dissymétrie des deux parties relatives respectivement au sexe masculin et au sexe féminin qui est due aux deux raisons suivantes :
— naissances de garçons plus nombreuses que celles des filles (51 % des garçons, contre 49 % de filles).
— mortalité masculine en général supérieure à la mortalité féminine et surtout aux âges avancés où la disproportion peut devenir très grande.

L'analyse de la population suivant l'âge permet également de calculer la proportion de personnes à charge : nombre d'enfants et de vieillards pour un adulte, qui traduit la charge effective qui pèse sur chaque individu en âge de travailler.

POPULATION SELON LES GRANDS GROUPES D'AGE

	0 - 14	15 - 59	60 et +	Total
Guinée	410	540	50	1 000
Bénin	460	484	56	1 000
Mali	430	520	50	1 000
Haute-Volta	417	530	53	1 000
Nord Cameroun	370	570	60	1 000
Centrafrique	400	580	20	1 000

2.3.1.3. Répartition selon l'état matrimonial. Caractéristiques.

2.3.1.3.1. Etat matrimonial.

On établit la répartition entre les différents états matrimoniaux : célibataire — marié — veuf — divorcé, des personnes de chaque sexe séparément.

Cette répartition peut être globale ou par âge ou tranche d'âge. L'interprétation de l'état matrimonial d'une population doit tenir compte :

— du rapport des effectifs des deux sexes : la proportion de célibataires est plus élevée pour le sexe le plus nombreux (1),
— des lois de nuptialité de chaque sexe,
— de la fréquence des divorces et des remariages,
— de la mortalité par âge et par état matrimonial pour chaque sexe,
— des migrations.

2.3.1.3.2. Autres critères.

D'autres critères permettent de caractériser l'état matrimonial des populations. Ce sont :

— l'âge moyen au mariage pour chacun des sexes
— le taux de polygamie globale ou par âge
— le pourcentage de mariages consanguins
— le pourcentage de mariages inter-ethniques.

2.3.1.4. Répartition selon le groupe ethnique.

C'est un élément souvent essentiel de la démographie. Les ressortissants d'un même groupe ethnique conservent en effet la plupart du temps un comportement, des coutumes, un genre de vie analogues. L'interprétation des principales caractéristiques démographiques d'une enquête en Afrique doit donc se faire également en comparant les données relatives à chacun des groupes ethniques représentés, dans la mesure évidemment où les effectifs de ces groupes ethniques

(1) Ceci peut être tempéré en Afrique pour les femmes par le jeu de la polygamie.

sont suffisants pour que les résultats aient une valeur statistique.

Cette notion est particulièrement importante lorsqu'il existe des oppositions affirmées entre groupes ethniques (problèmes fonciers...) lorsque les différentes ethnies ont des activités économiques différenciées et complémentaires (éleveurs, pêcheurs, agriculteurs, artisans spécialisés) lorsqu'à l'appartenance ethnique s'attache un statut social (pseudo-caste, condition d'infériorité) ou politique (rapports de subordination) particulier.

2.3.1.5. Répartition selon l'activité professionnelle. Caractéristiques.

Pour définir l'activité professionnelle de chaque individu on distingue quatre concepts différents :

— le métier ou profession : il s'agit de l'activité individuelle de chacun, par exemple : exploitant agricole, chauffeur de camion, artisan...
— la branche économique à laquelle appartient l'individu,
— la situation professionnelle de chaque travailleur ou statut,
— la catégorie socio-professionnelle de chaque individu qui répartit les individus selon une certaine homogénéité sociale.

Ces données sont essentiellement valables en pays développé. Lorsque, comme en Afrique, les individus vivent en communauté pratiquement autonome, il est hors de propos de rechercher des caractéristiques aussi détaillées. Le fait majeur à mettre en évidence est bien plutôt la répartition de la population entre le secteur d'activité traditionnelle (économie fermée) et le secteur d'activité moderne (économie d'échange).

Le nombre de travailleurs employés dans ce dernier secteur traduit finalement dans une certaine mesure, le degré d'évolution sociale auquel est parvenu le territoire intéressé.

2.3.1.6. Répartition selon le degré d'instruction. Caractéristiques.

Le degré d'instruction est en général repéré en répartissant la population soit selon le diplôme obtenu, soit selon le niveau le plus élevé dans les études, soit encore selon le temps passé à l'école.

En fait en Afrique la statistique de base demeure la répartition de la population selon son aptitude à lire et à écrire.

L'étude du degré d'instruction d'une population permet, lorsque l'on s'intéresse à la population d'âge scolaire, de calculer le taux de scolarisation, c'est-à-dire le rapport entre le nombre d'élèves et la population totale d'âge scolaire — ce taux permet d'apprécier l'effort consenti par un pays en matière de scolarisation.

2.3.2. DONNEES DE MOUVEMENT DE LA POPULATION

2.3.2.1. Mouvements naturels (1).

a) Taux de natalité et fécondité

(1) R. BLANC — Bilan encore fragile de la démographie africaine. *In :* Economie et Statistique n° 3, juillet-août 1969.

1. TAUX DE NATALITE

C'est le rapport du nombre de naissances vivantes survenues au cours d'une année civile à la population moyenne de l'année.

Ce taux ne fournit qu'une mesure approximative de l'intensité de la natalité : toute la population comprend en effet un grand nombre de personnes qui n'interviennent pas dans la procréation (enfants, vieillards), ce qui fait que des populations pourront paraître plus ou moins fécondes pour la seule raison qu'elles comprendront une plus ou moins grande proportion de personnes fécondes.

Guinée	:	62 ‰
Bénin	:	54 ‰
Mali	:	60 ‰
Cameroun	:	38 ‰
Vallée du Sénégal	:	42 ‰
Centrafrique	:	44 ‰

2. TAUX GLOBAL DE FECONDITE

Dans l'analyse de la fécondité il marque un premier progrès sur le taux de natalité. Calculé en rapportant les naissances d'une année à l'effectif moyen des femmes en âge de procréation, il corrige en partie la natalité d'un pays de ce qu'elle doit à la structure par âge de sa population.

Guinée	:	223 ‰
Bénin	:	227 ‰
Mali	:	200 ‰
Haute-Volta	:	197 ‰
Centrafrique	:	144 ‰

3. TAUX DE FECONDITE PAR AGE OU PAR GROUPE D'AGE

La fécondité féminine est essentiellement liée à l'âge. D'où la nécessité d'un taux de fécondité par âge ou par groupe d'âge qui rapporte aux effectifs des femmes d'âge ou de divers groupes d'âge considérés, le nombre de naissances annuelles engendrées respectivement par chacun de ces groupes.

4. TAUX BRUT DE REPRODUCTION

Le taux brut de reproduction qui résulte de la combinaison des taux de fécondité par âge ou groupe d'âge permet d'attacher à la fécondité d'une population une grandeur unique ayant un sens concret affirmé.

Le calcul se fait à partir des taux de fécondité par âge. Si l'on admet que les femmes qui en sont au début de leur période féconde auront au cours de celle-ci et pour chaque groupe d'âge la même fécondité que les femmes actuellement rangées dans ce groupe d'âge, il est possible d'évaluer le nombre d'enfants qu'elles auront mis au monde au total quand elles seront parvenues à la fin de leur période de procréation. Le nombre de filles comprises dans ce total après division par le nombre de femmes initiales donne le taux brut de reproduction de la population intéressée.

Ce taux est très parlant puisqu'il permet d'apprécier dans quelle mesure une génération se trouvera remplacée par sa descendance, compte non tenu de la mortalité pour la génération initiale de femmes.

Guinée	:	3,5 filles par femme
Bénin	:	3,3 »
Mali	:	2,7 »
Haute-Volta	:	3,1 »
Cameroun	:	2,2 »

b) Taux de mortalité

1. TAUX BRUT DE MORTALITE

C'est le nombre de décès de tous âges durant une période déterminée rapporté à la population moyenne durant la même période.

Guinée	:	40 ‰
Bénin	:	26 ‰
Mali	:	30 ‰
Cameroun	:	22 ‰
Centrafrique		27 ‰
Sénégal	:	15 ‰

Le taux de mortalité ne peut être analysé seul mais doit être rapproché de la structure par âge de la population. Un taux de mortalité très élevé peut s'expliquer par des conditions sanitaires ou sociologiques particulières.

2. TAUX DE MORTALITE PAR SEXE ET PAR AGE

Plus encore que pour la natalité, il est nécessaire de mesurer l'étude de la mortalité suivant le sexe et l'âge des personnes, tant est grande l'influence de ces deux facteurs. On est ainsi conduit à calculer des taux de mortalité par âge et par sexe en rapportant le nombre de décès de chaque groupe d'âge survenus en un an à l'effectif moyen des divers groupes d'âges considérés et cela séparément pour chaque sexe.

Parmi les différents taux de mortalité par âge, celui des enfants de moins d'un an revêt une importance particulière. Non seulement il est élevé mais le fait qu'il soit absolument indépendant de la structure par âge lui confère une signification intrinsèque du plus grand intérêt : c'est le taux de mortalité infantile qui, en pratique, se calcule par le rapport aux naissances des décès de moins d'un an. Il représente l'un des repères les plus expressifs de l'état sanitaire et du niveau de vie d'une population.

3. TABLE DE MORTALITE

Une méthode particulièrement précise et parlante pour mesurer la mortalité et en suivre l'évolution au fur et à mesure de l'avance en âge des individus consiste à étudier le sort d'une génération (c'est-à-dire l'ensemble des personnes nées une même année) au cours du temps et à apprécier la manière dont elle se trouve progressivement réduite jusqu'à son extinction complète.

Les tables de mortalité sont établies à partir du quotient de mortalité par âge qui est pour une génération donnée le rapport entre le nombre annuel de décès entre deux groupes d'âges consécutifs et le nombre de personnes ayant atteint le premier groupe d'âges.

La série de quotients de mortalité aux divers âges permet d'établir la table de mortalité, c'est-à-dire le nombre de décés dans chaque tranche d'âge considérée et le nombre de survivants à chaque tranche d'âge d'un ensemble initial de 1 000 personnes qui seraient soumises tout au long de leur vie aux probabilités de décès exprimées par les précédents quotients de mortalité.

4. ESPERANCE DE VIE

De la table de mortalité on déduit l'espérance de vie à chaque âge qui caractérise le nombre d'années vécues en moyenne par les survivants à partir de cet âge. C'est l'un des meilleurs moyens pour comparer la mortalité dans différents pays, ou dans un même pays à différentes dates. C'est un excellent critère du degré d'évolution atteint par la population.

Guinée	: 27 ans
Bénin	: 37 ans
Haute-Volta	: 31 ans
Cameroun	: 39 ans
Sénégal	: 38 ans
Centrafrique	: 34 ans

c) Combinaison de la natalité et de la mortalité

1. TAUX D'ACCROISSEMENT NATUREL

La comparaison globale entre naissances et décès au cours d'une année rapportée à 1 000 habitants fournit le taux d'accroissement naturel qui traduit le rythme d'évolution (en hausse ou en baisse) de la population considérée.

Le temps mis par une population pour doubler d'effectif illustre ce taux d'accroissement naturel. Ce temps est environ de :

35 ans pour un taux d'accroissement naturel de 2 %
28 ans pour un taux d'accroissement naturel de 2,5 %
23 ans pour un taux d'accroissement naturel de 3 %
20 ans pour un taux d'accroissement naturel de 3,5 %
17 ans pour un taux d'accroissement naturel de 4 %
15 ans pour un taux d'accroissement naturel de 4,5 %

Guinée	: 2,2 %
Bénin	: 2,8 %
Haute-Volta	: 1,9 %
Cameroun	: 1,8 %
Sénégal	: 2,2 %
Centrafrique	: 2,0 %

2. TAUX NET DE REPRODUCTION

Le taux d'accroissement annuel ne fournit qu'une idée globale du mouvement d'une population. Il peut arriver que les taux globaux révèlent un accroissement numérique de la population, dû par exemple à un abaissement de la mortalité bien qu'en réalité la situation

s'aggrave du fait que les nouvelles générations n'assurent plus le remplacement des anciennes.

C'est pourquoi l'on peut caractériser l'évolution d'une population par le taux net de reproduction. Il est obtenu par application aux taux de fécondité des femmes en âge de procréer, des taux de survie aux différents âges et traduit dans quelle mesure une génération se trouvera remplacée par sa descendance compte tenu de la mortalité de la génération initiale.

Guinée	:	1,6 filles par femme
Bénin	:	2 »
Haute-Volta	:	1,4 »
Sénégal	:	2,1 »
Cameroun	:	1,5 »
Centrafrique	:	1,5 »

2.3.2.2. Mouvement migratoire.

Les migrations (définitives, temporaires ou saisonnières), sont déterminées, dans une certaine mesure, par la situation économique d'une région. Exode rural ou afflux d'immigrés ont d'importantes conséquences économiques et sociales.

L'intensité des migrations est mesurée pour une région donnée par le nombre de personnes qu'elle affecte durant une période déterminée.

2.3.3. DONNEES COLLECTIVES

Les problèmes posés par la famille ont attiré très tôt l'attention des sociologues. La mentalité des populations africaines demeure imprégnée du concept de groupe : ce qui compte c'est bien souvent le lignage, la classe, la famille... et non l'individu. L'appropriation collective est chose courante dans les régions de culture itinérante ou de nomadisme pastoral et l'on conçoit la nécessité de prendre en considération la structure organique de la société lors de toute étude économique et sociale ou préalablement à tout essai de mise en valeur.

Dans les sociétés africaines on peut distinguer deux grandes catégories de groupements : ceux qui sont basés sur la parenté et ceux qui sont basés sur l'association. Les premiers tiennent souvent la première place car les groupes de parenté remplissent de nombreuses fonctions et représentent un élément essentiel de l'équilibre social.

La connaissance des groupes de parenté est indispensable à l'appréciation de l'organisation sociale.

Etant donné l'importance économique (appropriation du sol, formes de coopération élargie, transmission des biens), sociale et politique (système d'autorité) des groupes de parenté élargie, il convient de les étudier aux différents niveaux :

— **le clan** est composé par un ensemble de personnes qui se considèrent comme descendants (en ligne paternelle — filiation patrilinéaire, ou maternelle — filiation matrilinéaire) d'un même ancêtre, le plus souvent légendaire. Il s'agit donc le plus souvent

d'une descendance fictive. Le clan peut être divisé en sous-clans.

— **le lignage** est composé d'un ensemble de personnes qui sont rattachées à un ancêtre commun et connu. Il peut avoir une profondeur généalogique variable, chaque membre étant capable de retracer les liens généalogiques qui les relient à l'ancêtre du lignage. Le lignage est le plus souvent exogame (les membres d'un même lignage ne peuvent se marier entre eux).

— **le ménage** est le groupement familial le plus simple : il est constitué par les époux et les enfants non mariés. Il représente fréquemment l'unité de production et de consommation. Dans certains cas cependant, les ménages sont regroupés sous l'autorité d'un ascendant et constituent une famille étendue.

Une attention toute particulière doit être accordée à l'articulation entre les données collectives de structures et les données géographiques, ou administratives (notion de canton, de village, de hameau) lorsqu'on conçoit une enquête.

2.4. Les enquêtes statistiques agricoles

Les enquêtes statistiques agricoles dans les pays en voie de développement procèdent des techniques générales dont nous venons de parler.

Il nous semble cependant intéressant de rappeler ici un certain nombre de points particuliers relatifs à ces enquêtes.

2.4.1. LES DIFFICULTES PARTICULIERES AUX ENQUETES AGRICOLES

Ces difficultés tiennent essentiellement au milieu où s'exercent ces enquêtes. Elles sont de divers ordres :

— difficultés psychologiques : l'enquête peut être la source d'une crainte d'imposition fiscale ou encore certains motifs religieux peuvent gêner l'enquête.

— difficultés matérielles : population en général illettrée et où il n'existe pas de systèmes de poids et mesures; difficultés de parcourir le pays et faible densité de population.

— difficultés techniques : elles ressortent essentiellement des habitudes culturales :
  — association de cultures et successions de cultures
  — défrichement suivi de cultures, puis jachère
  — éloignement des champs et des plantations par rapport au lieu de résidence habituelle
  — économie de cueillette pour certains produits.

  Ces difficultés forment déjà un ensemble qui contribuera à la complication du problème : définition de l'exploitation agricole, du champ, de la superficie en cultures, du rendement.

A cet ensemble s'ajoutent les conditions économiques générales qui rendent très délicate l'observation des prix qui demeurent très fluctuants et de la commercialisation des produits qui reste très diffuse et malaisée à saisir.

2.4.2. LES CONCEPTS ET DEFINITIONS

Le schéma de sondage le plus fréquemment adopté est un sondage à trois degrés qui porte successivement sur les villages, les exploitations agricoles et les champs.

Des difficultés propres à ces trois concepts peuvent apparaître :

— le village n'est pas toujours bien groupé et individualisé sur le terrain. Il peut être une simple communauté administrative couvrant une zone de plusieurs dizaines de km² où l'habitat a éclaté en un grand nombre de hameaux permanents et d'écarts. Parfois le village envoie des antennes très éloignées de telle manière qu'à la saison des cultures les habitants ont un domicile secondaire à proximité des champs (campement de cultures).

Il convient donc d'apporter un soin tout particulier à repérer correctement toutes les agglomérations, principales ou secondaires, permanentes ou saisonnières, regroupées sous l'unité village.

— l'exploitation agricole peut coïncider avec le ménage, ou au contraire, le village peut être divisé traditionnellement en concessions ou grandes familles à l'intérieur desquelles fonctionnent plusieurs exploitations agricoles distinctes.

— les superficies posent également des problèmes particuliers et il est nécessaire de bien préciser quelle catégorie de superficies a été considérée. On peut distinguer :

— la superficie physique où chaque parcelle de l'exploitation est comptée une seule fois,
— la superficie statistique où chaque parcelle est comptée autant de fois qu'elle a porté de culture dans l'année,
— la superficie développée dans le cas de cultures associées où chaque parcelle est comptée en totalité pour chaque culture présente dans l'association.

2.4.3. LES TECHNIQUES PROPRES AUX ENQUETES STATISTIQUES AGRICOLES

2.4.3.1 Les mesures de superficie (1).

L'absence de cadastre et la méconnaissance par les exploitants des superficies qu'ils cultivent conduisent dans les pays en voie de développement à mesurer les champs. Cette mesure se fera en décomposant les champs en un polygone dont on mesurera la longueur des côtés et leur direction par rapport au Nord.

Ces mesures seront alors restituées au bureau et l'évaluation de la superficie se fera suivant différentes méthodes : pesée - méthode par point ou par petits carrés - décomposition en triangle - planimètre.

2.4.3.2. La mesure des densités.

Un bon indice de l'intensité de la culture est donné par le nombre de pieds ou de plants portés par un champ. On est donc amené à

---

(1) Cf. Ch. Topographie.

rechercher pour les cultures les plus importantes, la densité moyenne à l'hectare. Le principe est de placer de façon aléatoire dans le champ un carré dont les sommets sont matérialisés par quatre piquets et de compter le nombre de pieds, buttes, poquets... de la culture intéressée compris à l'intérieur de ce carré. La dimension du carré échantillon par parcelle dépend de l'hétérogénéité du milieu.

2.4.3.3. La mesure des rendements.

La mesure des rendements se fait par prélèvement et pesée d'une coupe-échantillon prise sur une superficie donnée. La pratique des coupes-échantillons consiste à placer d'une manière aléatoire un « carré de rendement » dans le champ. Différentes techniques de mise en place du carré sont possibles : emploi d'une grille - tirage de nombres aléatoires ou de directions aléatoires.

La récolte de la coupe-échantillon se pratiquera à maturité normale avec des instruments identiques à ceux qu'utilisent les cultivateurs.

Le produit sera pesé et conservé pour le calcul des coefficients de conversion des rendements bruts (1).

2.4.4. LES QUESTIONNAIRES

Une enquête statistique agricole ayant pour but l'étude des structures des exploitations et l'évaluation des différentes productions de la zone d'étude comprend en général les listes et questionnaires suivants :

— liste des chefs d'exploitation sur laquelle seront tirées les exploitations enquêtes.

— questionnaire « Population » permettant de connaître la structure de la population vivant sur les exploitations soit à titre définitif, soit à titre temporaire (main-d'œuvre salariée).

— questionnaire « Caractéristiques générales de l'exploitation » qui comporte les renseignements relatifs :
  - au statut juridique de l'exploitant
  - au mode de faire valoir
  - à la qualité du chef d'exploitation
  - au matériel et au cheptel ainsi qu'à certaines questions diverses suivant les buts de l'enquête : points d'eau - moyens de transport...

— questionnaire « listes des parcelles » indiquant pour chaque parcelle de l'exploitation l'année de défrichement, les cultures présentes sur la parcelle, la fumure, l'engrais, l'irrigation...

— questionnaire « Croquis de parcelle » où en plus de renseignements qualitatifs sur la parcelle sont portées les mesures permettant ensuite de restituer la parcelle et d'en calculer la superficie.

— questionnaire « carré de densité » donnant les résultats du comptage des pieds, poquets, plants...

— questionnaire « Rendement » où sont notés les résultats de la pesée des récoltes.

(1) A taux d'humidité constant.

2.4.5. LE DEPOUILLEMENT (1)

Les principaux tableaux à sortir d'un dépouillement relatif à une enquête agricole en région de cultures vivrières et industrielles comprennent :

a) Dans la description du domaine de l'étude

— Nombre de villages et population administrative, nombre d'exploitations.

— Schéma de sondage : regroupement des villages en unités primaires, stratification.

— Composition de l'échantillon.

b) Estimation globale

— de la population selon l'âge, le sexe, l'activité.

— des actifs agricoles résidants ou des salariés.

— du nombre d'exploitants par catégorie et selon la taille de population.

c) Tableaux statistiques

1 — sur la population agricole :

— nombre de personnes total, actives, actives agricoles selon la taille de l'exploitation.

— nombre d'exploitations selon certains critères du chef d'exploitation : âge - ethnie - nombre de femmes.

2 — sur les superficies :

— superficie totale et selon les cultures des exploitations avec distribution selon leur taille.

— superficie totale et selon les cultures des exploitations avec distribution selon la population totale et selon la population active des exploitations.

— superficie selon les cultures et selon l'année de défrichement.

— superficie en cultures vivrières et superficie en cultures industrielles.

— superficie par actif selon l'outillage.

— densités des principales cultures pures ou en association.

3 — sur les rendements :

— rendement des différentes cultures.

— rendement par culture selon l'année de culture, selon le type de sol, selon la situation géographique, selon la variété, selon l'outillage...

(1) Cf. Informatique et économie rurale.

4 — technicité :

recensement du petit outillage, engrais, insecticides. matériel de culture attelée, etc.

5 — description de l'exploitation moyenne.

2.5. Les enquêtes statistiques sur les budgets familiaux

2.5.1. GENERALITES

Les enquêtes statistiques sur les budgets familiaux comprennent en général :

— une étude de la consommation qui est la somme :
  — d'une part, de l'autoconsommation ou consommation par les ménages de biens (produits ou services) produits par les ménages eux-mêmes et n'ayant pas fait l'objet de transaction.
  — d'autre part, de la consommation de biens (produits, services...) provenant d'échanges ou transactions commerciales qui peuvent être monétaires (achats) ou non monétaires (cadeaux reçus, trocs).

— une étude de la contrepartie de la consommation : production - source de revenus monétaires, trocs.

2.5.2. TECHNIQUES D'ENQUETE

2.5.2.1. Plan de sondage.

En pays en voie de développement le plan de sondage comporte, en général, deux degrés :

— tirage des villages-échantillons, et établissement de la liste des familles.

— tirage des familles-échantillons.

En général, l'enquête budget-consommation s'étend sur une année entière, mais pour alléger la charge imposée aux familles faisant l'objet de l'enquête, l'échantillon est renouvelé après une période de temps déterminée.

2.5.2.2. Questionnaires.

Les questionnaires comportent :

— un questionnaire « inventaire de la population de chaque unité budgétaire » faisant le recensement de chaque personne résidente suivant le sexe, l'âge, le groupe ethnique, l'activité...

— des relevés budgétaires concernant tous les échanges (revenus ou dépenses) monétaires ou non, échanges de biens ou de services, effectués pendant la période de relevé, ou pendant une période fixée précédant la date du relevé, par un des membres quelconque de l'unité budgétaire.

2.5.3. ENQUETE SUR LA NUTRITION

Il arrive fréquemment qu'à une enquête budget-consommation, soit associée une enquête alimentaire qui a pour but de rechercher le niveau de nutrition, le régime alimentaire et les rations en différents principes nutritifs des populations enquêtées.

La technique de cette enquête consiste à peser tous les aliments entrant dans la composition des repas d'un échantillon de personnes donné pendant une durée de temps déterminée.

3. LA STATISTIQUE APPLIQUEE A L'EXPERIMENTATION AGRONOMIQUE

L'expérimentation agronomique opère sur la matière vivante et se heurte à de nombreuses difficultés. La grande variabilité des caractères étudiés, les nombreuses et incontrôlables causes qui peuvent les influencer rendent suspect a proiri tout résultat isolé.

La méthode statistique, qui permet d'éprouver la validité des résultats en fonction même de leur variabilité, donne des méthodes d'interprétation des résultats adaptées aux conditions particulières de la recherche agronomique.

La méthode statistique a en outre profondément modifié les conceptions relatives à l'organisation des expériences, elle a mis à la disposition des expérimentateurs une série de tests qui permet d'éprouver la valeur des résultats avec la plus parfaite rigueur scientifique.

L'expérimentation agronomique, qui poursuit en général des fins économiques, procède surtout à des comparaisons de rendements qui exigent des essais appliqués aux plantes cultivées ou aux animaux d'élevage.

L'application des méthodes statistiques à l'expérimentation agricole sera définie dans ses principes généraux et ses méthodes de base. Nous donnerons ensuite un bref aperçu sur les schémas d'expérience utilisés le plus souvent.

3.1. Principes généraux

La détermination et la comparaison des rendements sont les critères nécessaires dans les essais de variété, d'engrais, de méthodes culturales, de soins ou de traitements appliqués aux plantes... Ces problèmes constituent l'essentiel de l'expérimentation agricole, ils portent sur des collectivités plus ou moins nombreuses de plantes et ne peuvent être étudiés que dans leur milieu naturel, c'est-à-dire en plein champ.

3.1.1. LE HASARD ET SES COMPOSANTS DANS L'EXPERIMENTATION AGRICOLE

Les causes de variation qui constituent les éléments du hasard et qui interviennent dans ce qu'on appelle « l'erreur expérimentale » peuvent être classées en deux catégories :

— les causes de variation provenant du milieu physique, chimique et biologique. Parmi celles-ci on peut citer la fertilité du sol qui diffère à la fois par sa composition physique et par sa composition chimique, par la pente... et les facteurs climatiques pour lesquels le micro-relief intervient,

— les irrégularités inhérentes aux plantes tiennent essentiellement à la fluctuation des caractères morphologiques, physiologiques, pathologiques et chimiques de celles-ci. Les variabilités de rendement totalisent, en quelque sorte, les variabilités propres à chaque caractère.

On peut étudier l'hétérogénéité du milieu naturel en divisant la surface du champ en un plus ou moins grand nombre de parcelles égales, en appliquant à toutes les mêmes traitements et en recherchant la loi de répartition des rendements parcellaires. Ces essais sont dits « essais d'uniformité ».

3.1.2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET INTERPRETATION STATISTIQUE

La réalisation d'un dispositif expérimental doit se baser sur les principes suivants :

— **les essais doivent être répétés plusieurs fois** dans certaines conditions bien précises (par exemple plusieurs parcelles d'une même variété).

Il est alors possible de comparer les rendements et d'en déduire une estimation de l'erreur incluse dans le dispositif expérimental. A partir de cette estimation on peut comparer les moyennes obtenues sur chacune des variétés et prononcer un jugement inattaquable sur leur valeur respective,

— **les variétés doivent être disposées « au hasard »** pour garantir la validité de l'expérience. Cette disposition au hasard doit s'exercer sur toutes les causes perturbatrices connues qui sont susceptibles d'influencer le résultat final (randomisation).

— il faut **chercher à abaisser** le plus possible l'erreur expérimentale en réduisant au maximum **toutes les causes de variation autres que celles dont on veut mesurer l'effet** et en tenant compte dans le dispositif expérimental des différents facteurs de variation qui y sont maintenus, auxquels on assigne une disposition convenable de façon à pouvoir les traiter comme « cause contrôlée » au même titre que la cause principale de variation. L'effet des différentes causes contrôlées peut être alors lui-même testé et l'on peut alors dans une même expérience, étudier par exemple l'action de plusieurs facteurs sur le rendement ainsi que les interactions de ces facteurs.

3.2. Méthodes de base

Toute expérience un peu complexe utilise la combinaison des principes qui viennent d'être exposés. Il y a toujours un nombre plus ou moins élevé de répétitions et les causes de variation sont, soit contrôlées, soit distribuées au hasard. Mais la disposition adoptée n'est

pas indifférente, elle doit être facilement réalisable sur le terrain et elle doit permettre une estimation correcte de l'erreur expérimentale.

En réalité on adopte en général des schémas-types qui réalisent les conditions précédentes : appariement - disposition en blocs ou en carrés latins.

3.2.1. METHODE D'APPARIEMENT (ou Méthode des couples)

a) **Présentation générale**

Cette méthode **permet de comparer deux traitements** ou deux variétés. On recueille un certain nombre de paires (ou de couples) de résultats, toutes les conditions restant aussi identiques que possible dans une même paire, différence entre variétés mise à part.

Les parcelles d'une même paire sont voisines de façon à réduire les écarts de fertilité; le hasard décide de l'affectation des variétés à l'une ou l'autre parcelle, et les soins culturaux sont réalisés avec le maximum d'uniformité.

b) **Exemple numérique**

Soient deux variétés de sorgho S_a et S_b observées sur huit parcelles (par paire).

Les résultats de l'expérimentation figurent dans le tableau ci-dessous. Les rendements sont exprimés en quintaux/hectare.

k échantillons	S_a	S_b	Différences
1	8,4	7,2	$x_1 = 1,2$
2	7,9	7,1	$x_2 = 0,8$
3	9,6	9,7	$x_3 = -0,1$
4	6,4	5,8	$x_4 = 0,6$
5	7,4	7,6	$x_5 = -0,2$
6	12,8	12,0	$x_6 = 0,8$
7	8,1	8,1	$x_7 = 0$
8	8,3	7,4	$x_8 = 0,9$

$$\bar{x} = 0,5$$

On teste l'hypothèse suivante :

Les deux variétés ont des potentialités équivalentes qui se traduisent sur le terrain par des rendements sensiblement égaux.

Dans ces conditions, x_i est une variable aléatoire distribuée normalement autour de 0 et d'écart type σ.

La moyenne $\bar{x}$ est aussi une variable aléatoire distribuée autour de 0 et d'écart-type $\frac{\sigma}{\sqrt{k}}$; on estime σ par :

$s = \sqrt{\frac{\Sigma (x_i - \bar{x})^2}{k-1}}$ (cas de petits échantillons), et l'on vérifie que

$\frac{\bar{x} - 0}{s/\sqrt{k}} \leqslant$ t lu sur la table pour $\nu = k - 1 = 7$ degrés de liberté

dans l'exemple cité $s \# 0{,}53$ $\quad t = 2{,}365$

$\frac{\bar{x}}{s/\sqrt{k}} \# 2{,}64$ ce nombre étant supérieur à t lu sur la table,

il y a 95 % de chances pour que l'hypothèse d'égalité des rendements soit fausse. Au seuil de signification de 0,05, la variété S_A est supérieure à la variété S_B.

3.2.2. METHODE DES BLOCS

a) **Présentation générale**

Cette méthode est préférable à la méthode d'appariement lorsque l'on doit **comparer plusieurs variétés ou plusieurs traitements** dans une même expérience. Dans cette méthode chacun des traitements est cultivé sur une surface aussi homogène que possible, cette surface constitue un bloc. Afin de réaliser les répétitions voulues les blocs sont situés en des emplacements différents; on se préoccupe chaque fois de l'homogénéité à l'intérieur d'un bloc, mais non des différences moyennes de fertilité qui peuvent exister d'un bloc à l'autre : dans chaque bloc, les parcelles affectées aux différents traitements sont déterminées uniquement par le hasard.

Les résultats sont donc soumis à l'action de deux catégories de causes contrôlées : les traitements et les blocs. L'analyse de la variance permet de séparer dans la fluctuation totale la part imputable :

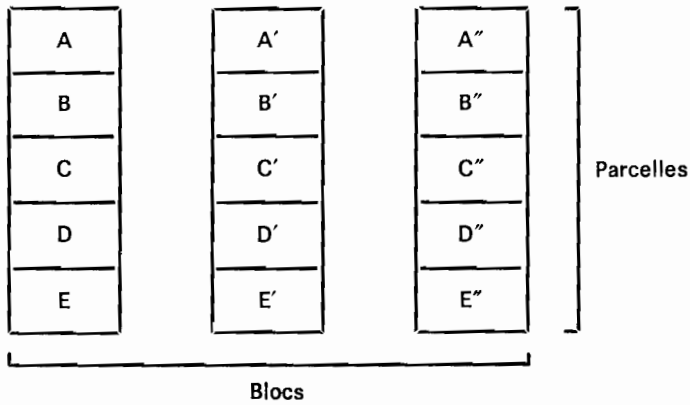
— aux différences entre traitements (variance « entre traitements »)

— aux différences entre blocs (variance « entre blocs »)

— à l'erreur expérimentale (variance « résiduelle »).

Le dispositif expérimental est le suivant : chaque parcelle affectée à une variété ou à un traitement doit, dans la mesure du possible, représenter un échantillon moyen du bloc dans lequel elle se trouve comprise. On donne au bloc la forme générale d'un carré et aux parcelles la forme de rectangles placés côte à côte. L'emplacement des traitements dans chaque bloc est assigné au hasard. **Les semailles et tous les traitements ultérieurs doivent être exécutés à la même date dans un bloc déterminé**; ils peuvent sans inconvénient présenter de légères différences entre les blocs.

METHODE DES BLOCS



b) **Aperçu théorique**

Soient T_1 ..... T_i ..... T_n les n traitements appliqués sur les blocs B_1 ..... B_j ..... B_k.

T \ B	B_1		B_j		B_k	Total	Moyenne
T_1	x_{11}		x_{1j}		x_{1k}	X_1	$\overline{x}_{1.}$
T_i	x_{i1}		x_{ij}		x_{ik}	X_i	$\overline{x}_{i.}$
T_n	x_{n1}		$X_{.j}$		x_{nk}	$X_{n.}$	$\overline{x}_{n.}$
Total	$X_{.1}$		x_{nj}		$X_{.k}$	$X_{..}$	
Moyenne	$\overline{x}_{.1}$		$\overline{x}_{.j}$		$\overline{x}_{.k}$		$\overline{x}$

x_{ij} représente le rendement observé du traitement T_i sur le bloc B_j
x_{ij} peut être défini par le modèle empirique suivant :

$$x_{ij} = m + t_i + b_j + e_i$$

m est une valeur centrale de rendement; t_i, b_j et e_{ij} marquent respectivement l'influence du traitement, du bloc et des variations naturelles inhérentes à toute expérimentation (même en l'absence de traitement).

On montre que ce modèle empirique rend le résidu $\Sigma\, e_{ij}$ (méthode des moindres-carrés) minimum lorsque $m = \bar{x}$

$$t_i = \bar{x}_{i.} - \bar{x}$$

$$b_j = \bar{x}_{.j} - \bar{x}$$

avec $\Sigma_i\, t_i = 0$ et $\Sigma_j\, b_j = 0$

le modèle s'écrit

$$x_{ij} - \bar{x} = (\bar{x}_{i.} - \bar{x}) + (\bar{x}_{.j} - \bar{x}) + e_{ij}$$

On élève au carré les 2 membres et on somme/i, j

$$\Sigma\, (x_{ij} - \bar{x})^2 = k \sum_i (\bar{x}_{i.} - \bar{x})^2 + n \sum_j (\bar{x}_{.j} - \bar{x})^2 + \sum_{ij} e^2_{ij}$$

Cette relation est l'équation d'**analyse de la variance.**

On admet que la somme des carrés résiduels est une quantité purement aléatoire et lorsqu'on divise cette quantité par les degrés de liberté, on obtient la quantité :

$$S^2_E = \frac{\sum_{ij} e^2_{ij}}{(n-1)\ (k-1)}$$

appelé variance d'erreur, estimation de σ^2 variance de la distribution.

Si on fait l'hypothèse que tous les traitements ont une action identique sur les rendements, les quantités $\bar{x}_{i.}$ sont distribuées normalement autour de la même moyenne donc :

$$\sum_i \frac{(\bar{x}_{i.} - \bar{x})^2}{n-1} \text{ devient une estimation de } \sigma^2 \frac{}{k}$$

$$\text{donc } k \sum_i \frac{(\bar{x}_{i.} - \bar{x})^2}{n-1} = S^2_T \text{ devient une estimation de } \sigma^2.$$

Le raisonnement est similaire pour les blocs où

$$n \sum_j \frac{(\bar{x}_{.j} - \bar{x})^2}{n-1} = S^2_B \text{ devient une estimation de } \sigma^2$$

On teste l'effet bloc par l'étude du rapport $\dfrac{S^2_B}{S^2_E} = F.$

La table de SNEDECOR donne la valeur de F ayant la probabilité de 0.05 d'être dépassée, en fonction des degrés de liberté ν_B et ν_E.

Si F calculé est inférieur au F lu sur la table, les 2 estimations de la variance sont compatibles et par conséquent il n'y a pas de différence significative entre les blocs. Le raisonnement est identique pour les traitements.

Si les traitements sont significativement différents, ils sont alors comparés deux par deux à l'aide du *test t* applicable aux petits échantillons.

La variance de la moyenne d'un traitement quelconque T_i est égale à la variance résiduelle $\frac{S^2_E}{k}$ et la variance de la différence entre les moyennes de deux traitements est $\frac{S^2_E \times 2}{k}$ (additivité des variances) et d'écart type $\sqrt{\frac{S^2_E \times 2}{k}}$.

Deux traitements pourront être considérés comme significativement différents si le quotient de la différence de leur moyenne par l'écart type de la distribution est supérieur ou égal à la valeur de T lue dans la table pour ν_E degrés de liberté (au niveau P = 0,05).

c) **Exemple numérique**

Comparaison de 5 variétés de riz (en culture irriguée) sur 3 blocs. les résultats de l'expérimentation sont consignés dans le tableau ci-dessous; les rendements sont exprimés en qx/ha.

Variétés	Bloc I	Bloc II	Bloc III	Total	Moyenne
V_1	27,0	24,2	17,5	68,7	22,90
V_2	15,4	11,0	11,5	37,9	12.63
V_3	16,8	16,4	14,6	47,8	15,93
V_4	5,4	3,9	8,4	17,7	5,90
V_5	18,0	18,3	15,0	51,3	17,10
Total	82,6	73,8	67,0	223,4	
Moyenne	16,52	14,76	13,4		14,89

L'équation d'analyse de la variance (n traitements, k blocs)

$$\sum_{ij} (x_{ij} - \bar{x})^2 = k \sum_{i} (\bar{x}_{i.} - \bar{x})^2 + n \sum_{j} (\bar{x}_{.j} - \bar{x})^2 + \sum_{ij} e_{ij}^2$$

se calcule facilement si l'on tient compte des simplifications suivantes :

$$\sum_{ij} (x_{ij} - \bar{x})^2 = \sum_{ij} x^2_{ij} - N\bar{x}^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} N = \text{nb total d'observations} \\ = k \times n \end{array} \right.$$

de même $\sum_{i} (x_{i.} - \bar{x})^2 = \sum_{i} x_{i.}^2 - n\bar{x}^2$ et $\sum_{j} (x_{.j} - \bar{x})^2 = \sum_{j} x^2_{.j} - k\bar{x}^2$

$\sum_{ij} e^2_{ij}$ se détermine par différence.

Le tableau d'analyse de la variance se présente ainsi :

Source de variation	Somme des carrés Z	Degrés de liberté ν	Variance Z/ν
Entre variétés	$k \sum_i (\bar{x}_{i.} - \bar{x})^2 = 468{,}13$	$n-1 = 4$	$117{,}03 = S^2_v$
Entre blocs	$n \sum_j (\bar{x}_{.j} - \bar{x})^2 = 24{,}47$	$k-1 = 2$	$12{,}23 = S^2_B$
Résiduelle (par différence)	$\sum e^2_{ij} = 54{,}71$	$(n-1)(k-1) = 8$	$6{,}84 = S^2_E$
Total	$\sum_{ij} (x_{ij} - x)^2 = 547{,}31$	$nk-1 = 14$	

1) Comparaison globale des blocs

Le rapport des variances $\frac{S^2_B}{S^2_E} = 1{,}79$ alors que la valeur limite de F (ayant 5 % de chances d'être dépassée) lue sur la table de SNEDECOR est 4,46 pour $\nu_B = 2$, $\nu_E = 8$.

Il n'y a donc pas de différences significatives entre les blocs.

2) Comparaison globale des variétés

Le rapport des variances $\frac{S^2_v}{S^2_E}$ est égal à 17,12 alors que sa valeur limite lue sur la table est de 3,84, il y a donc des différences significatives entre les variétés.

3) Comparaison des variétés deux à deux

La variance de la moyenne d'un traitement est $\frac{6{,}84}{3}$ et la variance de la différence entre les moyennes de deux traitements est $\frac{6{,}84}{3} \times 2$; l'écart type est donc $\sqrt{\frac{6{,}84 \times 2}{3}} = 2{,}14$.

Or t, pour 8 degrés de liberté, est égal à 2,306.

La différence entre deux traitements est significative si le quotient de la différence de leur moyenne par 2,14 est supérieur ou égal à 2,306.

$$V_1 - V_2 = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 22{,}90 - 12{,}63 = 10{,}27$$

10,27/2,14 est supérieur à 2,306 donc $V_1 > V_2$

Si l'on compare ainsi V_1 à chacune des autres variétés, on peut conclure qu'il y a 95 % de chances pour que la variété V_1 soit plus productive que toutes les autres.

V_5, V_3, et V_2 sont significativement supérieurs à V_4 mais ne sont pas significativement différents entre eux.

3.2.3. METHODE DU CARRE LATIN

a) **Présentation générale**

Cette méthode élimine la plus grande partie de l'hétérogénéité due au sol en répartissant les épreuves sur deux séries de bandes, celles de la deuxième étant perpendiculaires à celles de la première.

Il s'agit dans la pratique de comparer un certain nombre de variétés ou de traitements : le carré à n^2 cases est approprié à la comparaison globale de n traitements moyennant le dispositif suivant qui constitue à proprement parler « le carré latin ». Les n traitements sont répartis en raison d'un par ligne et par colonne et cette condition étant remplie strictement au hasard.

L'interprétation du résultat et le calcul découlent de l'analyse de la variance. La variance totale peut être décomposée en :

— variance entre les lignes

— variance entre les colonnes

— variance entre les traitements

— variance résiduelle (erreur expérimentale).

Dans le dispositif expérimental, la surface consacrée à l'expérience peut ne pas être un véritable carré, mais un rectangle ne s'éloignant pas trop de la forme carrée. On la divise en n bandes dans chacune des deux directions perpendiculaires ce qui donne n^2 parcelles à peu près carrées. Les n parcelles à affecter à un même traitement sont réparties au hasard, mais de telle façon que le traitement figure une fois et une seule dans chaque ligne, une fois et une seule dans chaque colonne : chaque ligne contient donc les n traitements et il en est de même pour chaque colonne.

L'identité des conditions culturales doit être recherchée au maximum sur toute l'étendue du carré.

Le dispositif en carré latin convient particulièrement bien pour la comparaison de 4 à 8 traitements ou variétés, l'élimination des variations contrôlées de fertilité permet une réduction très importante de l'erreur et conduit à une excellente précision, de l'ordre de 2 % de la moyenne dans les cas les plus favorables. Au contraire la méthode convient mal à un nombre très élevé de traitements. Elle impose un cadre rigide, comportant autant de répétitions que de traitements différents de sorte que le nombre de parcelles s'élève rapidement, et complique l'exécution matérielle; l'étude de 15 variétés exigerait 225 parcelles, alors que 4 répétitions en 4 blocs n'en demandent que 60.

METHODE DU CARRE LATIN

D	B	E	A	C
E	A	C	D	B
C	D	A	B	E
A	C	B	E	D
B	E	D	C	A

b) **Aperçu théorique**

Le modèle se rapproche de celui des blocs, mais la variation « blocs » est décomposée en deux variations dues aux n lignes et n colonnes.

Soit x_{lcl} une observation d'un traitement T_l, sur une colonne C et une ligne L,avec $x_{.l.}$ la moyenne de la ligne, $x_{..c}$ la moyenne de la colonne et $x_{l..}$ la moyenne des observations du traitement T_l; x_{llc} peut se définir ainsi :

$$x_{llc} - \bar{x} = (\bar{x}_{l.} - \bar{x}) + (\bar{x}_{.l} - \bar{x}) + (\bar{x}_{..c} - \bar{x}) + e_{llc}$$

On fait la sommation par rapport à i, c et l après avoir élevé au carré et on obtient l'équation d'analyse de la variance.

$$\sum_{llc} (x_{llc} - \bar{x})^2 = n \sum_{l} (\bar{x}_{l..} - \bar{x})^2 + n \sum_{l} (\bar{x}_{.l} - \bar{x}^2)$$

$$+ n \sum_{c} (\bar{x}_{..c} - \bar{x})^2 + \sum_{llc} e^2_{llc}$$

c) **Exemple numérique**

Etude des doses croissantes d'azote sur un riz irrigué.
Il y a 4 traitements :

T : N = 0
A : N = 30 unités à l'hectare
B : N = 45 unités à l'hectare
C : N = 60 unités à l'hectare

La disposition des parcelles et les résultats (rendements en qx/ha) sont indiqués ci-dessous.

C 40,3	A 29,6	T 20,3	B 40,4
B 37,6	T 19,2	C 42,6	A 34,7
A 32,4	C 39,7	B 37,2	T 18,0
T 19,4	B 40,4	A 34,5	C 43,8

Le tableau d'analyse de la variance est le suivant :

Origine de la variation	Somme des carrés Z	Degrés de liberté ν	Variance S^2 Z/ν
Entre lignes	16,14	n — 1 = 3	5,38 = S^2_L
Entre colonnes	11,14	n — 1 = 3	3,71 = S^2_O
Entre traitements	1193,97	n — 1 = 3	397,98 = S^2_T
Résiduelle (erreur exp.)	12,53	(n—1) (n—2) = 6	2,09 = S^2_E
Total	1233,78	n x n — 1 = 15	

1) $\frac{S^2_V}{S^2_E} = \frac{5,38}{2,09} = 2,57$. La valeur limite lue sur la table F est 4,76 il n'y a donc pas de différence significative entre les lignes. Il en est de même pour les colonnes.

2) $\frac{S^2_T}{S^2_E} = \frac{397,98}{2,09} = 190,4$. Ce nombre est supérieur à 4,76. Il y a donc des différences significatives entre les traitements.

3) *Comparaison des 4 doses croissantes d'azote.*

La variance des observations sur un traitement quelconque est 2,09 (erreur expérimentale), la variance de la moyenne d'un traitement est $\frac{2,09}{4}$ et la variance de la différence entre les moyennes de

deux traitements est $\frac{2{,}09 \times 2}{4} = 1{,}045$; donc l'écart type $\sqrt{1{,}045} = 1{,}02$.

Pour 6 degrés de liberté, la table t donne pour $P = 0{,}05$; $t = 2{,}447$.

Si $\frac{\vec{x}_{i..} - \vec{x}_{k..}}{1{,}02} \geqslant 2{,}447$, les deux traitements sont significativement différents.

On constate que l'on est dans ce cas et que l'ordre de classement est $T < A < B < C$.

3.3. Interactions

L'expérience en blocs ou en carrés latins conduit à des conclusions valables pour l'aire limitée de la station d'expérience et pour les conditions climatiques particulières de l'année. Dans la pratique le choix d'une variété ou d'un traitement ne se justifie que s'ils manifestent leur supériorité dans une large zone de culture et la maintiennent au cours d'années successives. Il est donc nécessaire de répéter les essais sur plusieurs champs d'expérience topographiquement répartis de façon à représenter la moyenne des caractères géologiques de la zone intéressée et de les répéter aussi un nombre suffisant d'années afin que se révèle l'influence du climat.

Si le classement des traitements reste la même dans ces séries d'essais l'interprétation en est aisée et donne une bonne garantie aux conclusions : l'abondance des répétitions accroît la précision des moyennes et permet à de faibles différences d'apparaître significatives. S'il n'en est pas ainsi, la comparaison des moyennes générales permet encore de choisir les traitements les plus intéressants, compte tenu des différences géologiques entre stations et climatiques entre années; mais il est intéressant de pouvoir définir dans quelle mesure ces différences affectent le rendement des récoltes. On se propose alors de calculer s'il y a interaction entre les différents facteurs de variations : année et variété - station et variété et même interaction plus complexe : années, stations et variétés.

Comme les moyens de traitement, les interactions sont soumises à des tests de signification. L'interprétation des interactions met en jeu l'analyse de la variance totale qui se décompose en variance due aux interactions des causes 2 à 2, 3 à 3... en variance due à l'interaction de toutes les causes considérées simultanément et enfin en variance due à l'erreur expérimentale.

TABLE DES DISTRIBUTIONS t DE STUDENT

k \ p	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001
1	0,325	0,727	1,376	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	318,3	636,6
2	0,289	0,617	1,061	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,33	31,60
3	0,277	0,584	0,978	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,22	12,94
4	0,271	0,569	0,941	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	0,267	0,559	0,920	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,859
6	0,265	0,553	0,906	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	0,263	0,549	0,896	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,405
8	0,262	0,546	0,889	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041
9	0,261	0,543	0,883	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	0,260	0,542	0,879	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587
11	0,260	0,540	0,876	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437
12	0,259	0,539	0,873	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318
13	0,259	0,538	0,870	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221
14	0,258	0,537	0,868	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140
15	0,258	0,536	0,866	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073
16	0,258	0,535	0,865	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015
17	0,257	0,534	0,863	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965
18	0,257	0,534	0,862	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,611	3,922
19	0,257	0,533	0,861	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883
20	0,257	0,533	0,860	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850
21	0,257	0,532	0,859	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819
22	0,256	0,532	0,858	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792
23	0,256	0,532	0,858	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,767
24	0,256	0,531	0,857	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745
25	0,256	0,531	0,856	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725
26	0,256	0,531	0,856	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707
27	0,256	0,531	0,855	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,690
28	0,256	0,530	0,855	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674
29	0,256	0,530	0,854	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,659
30	0,256	0,530	0,854	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646
40	0,255	0,529	0,851	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551
60	0,254	0,527	0,848	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232	3,460
80	0,254	0,527	0,846	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	3,195	3,415
100	0,254	0,526	0,845	1,290	1,660	1,984	2,365	2,626	3,174	3,389
200	0,254	0,525	0,843	1,286	1,653	1,972	2,345	2,601	3,131	3,339
500	0,253	0,525	0,842	1,283	1,648	1,965	2,334	2,586	3,106	3,310
∞	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,291

TABLES DES DISTRIBUTIONS χ^2 DE PEARSON

donnant les valeurs de χ^2 ayant la probabilité d'être dépassées

k \ p	0,9995	0,999	0,995	0,99	0,975	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6
1	$0{,}0^6393$	$0{,}0^5157$	$0{,}0^4393$	$0{,}0^3157$	$0{,}0^3982$	$0{,}0^2393$	0,0158	0,0642	0,148	0,275
2	$0{,}0^2100$	$0{,}0^2200$	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	0,211	0,446	0,713	1,02
3	0,0153	0,0243	0,0717	0,115	0,216	0,352	0,584	1,00	1,42	1,87
4	0,0639	0,0908	0,207	0,297	0,484	0,711	1,06	1,65	2,19	2,75
5	0,158	0,210	0,412	0,554	0,831	1,15	1,61	2,34	3,00	3,66
6	0,299	0,381	0,676	0,872	1,24	1,64	2,20	3,07	3,83	4,57
7	0,485	0,598	0,989	1,24	1,69	2,17	2,83	3,82	4,67	5,49
8	0,710	0,857	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	4,59	5,53	6,42
9	0,972	1,15	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	5,38	6,39	7,36
10	1,26	1,48	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	6,18	7,27	8,30
11	1,59	1,83	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	6,99	8,15	9,24
12	1,93	2,21	3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	7,81	9,03	10,2
13	2,31	2,62	3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	8,63	9,93	11,1
14	2,70	3,04	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	9,47	10,8	12,1
15	3,11	3,48	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	10,3	11,7	13,0
16	3,54	3,94	5,14	5,81	6,91	7,96	9,31	11,2	12,6	14,0
17	3,98	4,42	5,70	6,41	7,56	8,67	10,1	12,0	13,5	14,9
18	4,44	4,90	6,26	7,01	8,23	9,39	10,9	12,9	14,4	15,9
19	4,91	5,41	6,84	7,63	8,91	10,1	11,7	13,7	15,4	16,9
20	5,40	5,92	7,43	8,26	9,59	10,9	12,4	14,6	16,3	17,8
21	5,90	6,45	8,03	8,90	10,3	11,6	13,2	15,4	17,2	18,8
22	6,40	6,98	8,64	9,54	11,0	12,3	14,0	16,3	18,1	19,7
23	6,92	7,53	9,26	10,2	11,7	13,1	14,8	17,2	19,0	20,7
24	7,45	8,08	9,89	10,9	12,4	13,8	15,7	18,1	19,9	21,7
25	7,99	8,65	10,5	11,5	13,1	14,6	16,5	18,9	20,9	22,6
26	8,54	9,22	11,2	12,2	13,8	15,4	17,3	19,8	21,8	23,6
27	9,09	9,80	11,8	12,9	14,6	16,2	18,1	20,7	22,7	24,5
28	9,66	10,4	12,5	13,6	15,3	16,9	18,9	21,6	23,6	25,5
29	10,2	11,0	13,1	14,3	16,0	17,7	19,8	22,5	24,6	26,5
30	10,8	11,6	13,8	15,0	16,8	18,5	20,6	23,4	25,5	27,4

TABLES DES DISTRIBUTIONS χ^2 DE PEARSON (suite)

donnant les valeurs de χ^2 ayant la probabilité d'être dépassées

0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001	0,0005	p / k
0,455	0,708	1,07	1,64	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88	10,8	12,1	1
1,39	1,83	2,41	3,22	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6	13,8	15,2	2
2,37	2,95	3,67	4,64	6,25	7,81	9,35	11,3	12,8	16,3	17,7	3
3,36	4,04	4,88	5,99	7,78	9,49	11,1	13,3	14,9	18,5	20,0	4
4,35	5,13	6,06	7,29	9,24	11,1	12,8	15,1	16,7	20,5	22,1	5
5,35	6,21	7,23	8,56	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5	22,5	24,1	6
6,35	7,28	8,38	9,80	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3	24,3	26,0	7
7,34	8,35	9,52	11,0	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0	26,1	27,9	8
8,34	9,41	10,7	12,2	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6	27,9	29,7	9
9,34	10,5	11,8	13,4	16,0	18,3	20,5	23,2	25,2	29,6	31,4	10
10,3	11,5	12,9	14,6	17,3	19,7	21,9	24,7	26,8	31,3	33,1	11
11,3	12,6	14,0	15,8	18,5	21,0	23,3	26,2	28,3	32,9	34,8	12
12,3	13,6	15,1	17,0	19,8	22,4	24,7	27,7	29,8	34,5	36,5	13
13,3	14,7	16,2	18,2	21,1	23,7	26,1	29,1	31,3	36,1	38,1	14
14,3	15,7	17,3	19,3	22,3	25,0	27,5	30,6	32,8	37,7	39,7	15
15,3	16,8	18,4	20,5	23,5	26,3	28,8	32,0	34,3	39,3	41,3	16
16,3	17,8	19,5	21,6	24,8	27,6	30,2	33,4	35,7	40,8	42,9	17
17,3	18,9	20,6	22,8	26,0	28,9	31,5	34,8	37,2	42,3	44,4	18
18,3	19,9	21,7	23,9	27,2	30,1	32,9	36,2	38,6	43,8	46,0	19
19,3	21,0	22,8	25,0	28,4	31,4	34,2	37,6	40,0	45,3	47,5	20
20,3	22,0	23,9	26,2	29,6	32,7	35,5	38,9	41,4	46,8	49,0	21
21,3	23,0	24,9	27,3	30,8	33,9	36,8	40,3	42,8	48,3	50,5	22
22,3	24,1	26,0	28,4	32,0	35,2	38,1	41,6	44,2	49,7	52,0	23
23,3	25,1	27,1	29,6	33,2	36,4	39,4	43,0	45,6	51,2	53,5	24
24,3	26,1	28,2	30,7	34,4	37,7	40,6	44,3	46,9	52,6	54,9	25
25,3	27,2	29,2	31,8	35,6	38,9	41,9	45,6	48,3	54,1	56,4	26
26,3	28,2	30,3	32,9	36,7	40,1	43,2	47,0	49,6	55,5	57,9	27
27,3	29,2	31,4	34,0	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0	56,9	59,3	28
28,3	30,3	32,5	35,1	39,1	42,6	45,7	49,6	52,3	58,3	60,7	29
29,3	31,3	33,5	36,3	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7	59,7	62,2	30

TABLES DES DISTRIBUTIONS F DE SNEDECOR : $p = 5\ \%$

k_2 \ k_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	50	100	200	500	∞
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	246	248	250	252	253	254	254	254
2	18,5	19,0	19,2	19,2	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
3	10,1	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,70	8,66	8,62	8,58	8,55	8,54	8,53	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,86	5,80	5,75	5,70	5,66	5,65	5,64	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,62	4,56	4,50	4,44	4,41	4,39	4,37	4,37
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	3,94	3,87	3,81	3,75	3,71	3,69	3,68	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,51	3,44	3,38	3,32	3,27	3,25	3,24	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,22	3,15	3,08	3,02	2,97	2,95	2,94	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,01	2,94	2,86	2,80	2,76	2,73	2,72	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,85	2,77	2,70	2,64	2,59	2,56	2,55	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,72	2,65	2,57	2,51	2,46	2,43	2,42	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,62	2,54	2,47	2,40	2,35	2,32	2,31	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,53	2,46	2,38	2,31	2,26	2,23	2,22	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,46	2,39	2,31	2,24	2,19	2,16	2,14	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,40	2,33	2,25	2,18	2,12	2,10	2,08	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,35	2,28	2,19	2,12	2,07	2,04	2,02	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,31	2,23	2,15	2,08	2,02	1,99	1,97	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,27	2,19	2,11	2,04	1,98	1,95	1,93	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,23	2,16	2,07	2,00	1,94	1,91	1,89	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,20	2,12	2,04	1,97	1,91	1,88	1,86	1,84
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,15	2,07	1,98	1,91	1,85	1,82	1,80	1,78
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,11	2,03	1,94	1,86	1,80	1,77	1,75	1,73
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,07	1,99	1,90	1,82	1,76	1,73	1,71	1,69
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,04	1,96	1,87	1,79	1,73	1,69	1,67	1,65
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,01	1,93	1,84	1,76	1,70	1,66	1,64	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	1,92	1,84	1,74	1,66	1,59	1,55	1,53	1,51
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,03	1,87	1,78	1,69	1,60	1,52	1,48	1,46	1,44
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,84	1,75	1,65	1,56	1,48	1,44	1,41	1,39
80	3,96	3,11	2,72	2,49	2,33	2,21	2,13	2,06	2,00	1,95	1,79	1,70	1,60	1,51	1,43	1,38	1,35	1,32
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,31	2,19	2,10	2,03	1,97	1,93	1,77	1,68	1,57	1,48	1,39	1,34	1,31	1,28
200	3,89	3,04	2,65	2,42	2,26	2,14	2,06	1,98	1,93	1,88	1,72	1,62	1,52	1,41	1,32	1,26	1,22	1,19
500	3,86	3,01	2,62	2,39	2,23	2,12	2,03	1,96	1,90	1,85	1,69	1,59	1,48	1,38	1,28	1,21	1,16	1,11
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,67	1,57	1,46	1,35	1,24	1,17	1,11	1,00

TABLES DES DISTRIBUTIONS F DE SNEDECOR (suite) : $p = 2{,}5\ \%$

k_2 \ k_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	50	100	200	500	∞
1	648	800	864	900	922	937	948	957	963	969	985	993	1001	1008	1013	1016	1017	1018
2	38,5	39,0	39,2	39,2	39,3	39,3	39,4	39,4	39,4	39,4	39,4	39,4	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5
3	17,4	16,0	15,4	15,1	14,9	14,7	14,6	14,5	14,5	14,4	14,3	14,2	14,1	14,0	14,0	13,9	13,9	13,9
4	12,2	10,6	9,98	9,60	9,36	9,20	9,07	8,98	8,90	8,84	8,66	8,56	8,46	8,38	8,32	8,29	8,27	8,26
5	10,0	8,43	7,76	7,39	7,15	6,98	6,85	6,76	6,68	6,62	6,43	6,33	6,23	6,14	6,08	6,05	6,03	6,02
6	8,81	7,26	6,60	6,23	5,99	5,82	5,70	5,60	5,52	5,46	5,27	5,17	5,07	4,98	4,92	4,88	4,86	4,85
7	8,07	6,54	5,89	5,52	5,29	5,12	4,99	4,90	4,82	4,76	4,57	4,47	4,36	4,28	4,21	4,18	4,16	4,14
8	7,57	6,06	5,42	5,05	4,82	4,65	4,53	4,43	4,36	4,30	4,10	4,00	3,89	3,81	3,74	3,70	3,68	3,67
9	7,21	5,71	5,08	4,72	4,48	4,32	4,20	4,10	4,03	3,96	3,77	3,67	3,56	3,47	3,40	3,37	3,35	3,33
10	6,94	5,46	4,83	4,47	4,24	4,07	3,95	3,85	3,78	3,72	3,52	3,42	3,31	3,22	3,15	3,12	3,09	3,08
11	6,72	5,26	4,63	4,28	4,04	3,88	3,76	3,66	3,59	3,53	3,33	3,23	3,12	3,03	2,96	2,92	2,90	2,88
12	6,55	5,10	4,47	4,12	3,89	3,73	3,61	3,51	3,44	3,37	3,18	3,07	2,96	2,87	2,80	2,76	2,74	2,72
13	6,41	4,97	4,35	4,00	3,77	3,60	3,48	3,39	3,31	3,25	3,05	2,95	2,84	2,74	2,67	2,63	2,61	2,60
14	6,30	4,86	4,24	3,89	3,66	3,50	3,38	3,29	3,21	3,15	2,95	2,84	2,73	2,64	2,56	2,53	2,50	2,49
15	6,20	4,76	4,15	3,80	3,58	3,41	3,29	3,20	3,12	3,06	2,86	2,76	2,64	2,55	2,47	2,44	2,41	2,40
16	6,12	4,69	4,08	3,73	3,50	3,34	3,22	3,12	3,05	2,99	2,79	2,68	2,57	2,47	2,40	2,36	2,33	2,32
17	6,04	4,62	4,01	3,66	3,44	3,28	3,16	3,06	2,98	2,92	2,72	2,62	2,50	2,41	2,33	2,29	2,26	2,25
18	5,98	4,56	3,95	3,61	3,38	3,22	3,10	3,01	2,93	2,87	2,67	2,56	2,44	2,35	2,27	2,23	2,20	2,19
19	5,92	4,51	3,90	3,56	3,33	3,17	3,05	2,96	2,88	2,82	2,62	2,51	2,39	2,30	2,22	2,18	2,15	2,13
20	5,87	4,46	3,86	3,51	3,29	3,13	3,01	2,91	2,84	2,77	2,57	2,46	2,35	2,25	2,17	2,13	2,10	2,09
22	5,79	4,38	3,78	3,44	3,22	3,05	2,93	2,84	2,76	2,70	2,50	2,39	2,27	2,17	2,09	2,05	2,02	2,00
24	5,72	4,32	3,72	3,38	3,15	2,99	2,87	2,78	2,70	2,64	2,44	2,33	2,21	2,11	2,02	1,98	1,95	1,94
26	5,66	4,27	3,67	3,33	3,10	2,94	2,82	2,73	2,65	2,59	2,39	2,28	2,16	2,05	1,97	1,92	1,90	1,88
28	5,61	4,22	3,63	3,29	3,06	2,90	2,78	2,69	2,61	2,55	2,34	2,23	2,11	2,01	1,92	1,88	1,85	1,83
30	5,57	4,18	3,59	3,25	3,03	2,87	2,75	2,65	2,57	2,51	2,31	2,20	2,07	1,97	1,88	1,84	1,81	1,79
40	5,42	4,05	3,46	3,13	2,90	2,74	2,62	2,53	2,45	2,39	2,18	2,07	1,94	1,83	1,74	1,69	1,66	1,64
50	5,34	3,98	3,39	3,06	2,83	2,67	2,55	2,46	2,38	2,32	2,11	1,99	1,87	1,75	1,66	1,60	1,57	1,55
60	5,29	3,93	3,34	3,01	2,79	2,63	2,51	2,41	2,33	2,27	2,06	1,94	1,82	1,70	1,60	1,54	1,51	1,48
80	5,22	3,86	3,28	2,95	2,73	2,57	2,45	2,36	2,28	2,21	2,00	1,88	1,75	1,63	1,53	1,47	1,43	1,40
100	5,18	3,83	3,25	2,92	2,70	2,54	2,42	2,32	2,24	2,18	1,97	1,85	1,71	1,59	1,48	1,42	1,38	1,35
200	5,10	3,76	3,18	2,85	2,63	2,47	2,35	2,26	2,18	2,11	1,90	1,78	1,64	1,51	1,39	1,32	1,27	1,23
500	5,05	3,72	3,14	2,81	2,59	2,43	2,31	2,22	2,14	2,07	1,86	1,74	1,60	1,46	1,34	1,25	1,19	1,14
∞	5,02	3,69	3,12	2,79	2,57	2,41	2,29	2,19	2,11	2,05	1,83	1,71	1,57	1,43	1,30	1,21	1,13	1,00

TABLES DES DISTRIBUTIONS F DE SNEDECOR (suite) : $p = 1\ \%$

k_2 \ k_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	50	100	200	500	∞
	Les valeurs de la première ligne ($k_2 = 1$) doivent être multipliées par 10.																	
1	*405*	*500*	*540*	*563*	*576*	*586*	*593*	*598*	*602*	*606*	*616*	*621*	*626*	*630*	*633*	*635*	*636*	*637*
2	98,5	99,0	99,2	99,2	99,3	99,3	99,4	99,4	99,4	99,4	99,4	99,4	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5
3	34,1	30,8	29,5	28,7	28,2	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	26,9	26,7	26,5	26,4	26,2	26,2	26,1	26,1
4	21,2	18,0	16,7	16,0	15,5	15,2	15,0	14,8	14,7	14,5	14,2	14,0	13,8	13,7	13,6	13,5	13,5	13,5
5	16,3	13,3	12,1	11,4	11,0	10,7	10,5	10,3	10,2	10,1	9,72	9,55	9,38	9,24	9,13	9,08	9,04	9,02
6	13,7	10,9	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,56	7,40	7,23	7,09	6,99	6,93	6,90	6,88
7	12,2	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,99	6,84	6,72	6,62	6,31	6,16	5,99	5,86	5,75	5,70	5,67	5,65
8	11,3	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91	5,81	5,52	5,36	5,20	5,07	4,96	4,91	4,88	4,86
9	10,6	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47	5,35	5,26	4,96	4,81	4,65	4,52	4,42	4,36	4,33	4,31
10	10,0	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06	4,94	4,85	4,56	4,41	4,25	4,12	4,01	3,96	3,93	3,91
11	9,65	7,21	6,22	5,67	5,32	5,07	4,89	4,74	4,63	4,54	4,25	4,10	3,94	3,81	3,71	3,66	3,62	3,60
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,50	4,39	4,30	4,01	3,86	3,70	3,57	3,47	3,41	3,38	3,36
13	9,07	6,70	5,74	5,21	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19	4,10	3,82	3,66	3,51	3,38	3,27	3,22	3,19	3,17
14	8,86	6,51	5,56	5,04	4,70	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,66	3,51	3,35	3,22	3,11	3,06	3,03	3,00
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,52	3,37	3,21	3,08	2,98	2,92	2,89	2,87
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,78	3,69	3,41	3,26	3,10	2,97	2,86	2,81	2,78	2,75
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68	3,59	3,31	3,16	3,00	2,87	2,76	2,71	2,68	2,65
18	8,29	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,84	3,71	3,60	3,51	3,23	3,08	2,92	2,78	2,68	2,62	2,59	2,57
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,77	3,63	3,52	3,43	3,15	3,00	2,84	2,71	2,60	2,55	2,51	2,49
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,70	3,56	3,46	3,37	3,09	2,94	2,78	2,64	2,54	2,48	2,44	2,42
22	7,95	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35	3,26	2,98	2,83	2,67	2,53	2,42	2,36	2,33	2,31
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,26	3,17	2,89	2,74	2,58	2,44	2,33	2,27	2,24	2,21
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,18	3,09	2,82	2,66	2,50	2,36	2,25	2,19	2,16	2,13
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,75	3,53	3,36	3,23	3,12	3,03	2,75	2,60	2,44	2,30	2,19	2,13	2,09	2,06
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,07	2,98	2,70	2,55	2,39	2,25	2,13	2,07	2,03	2,01
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,89	2,80	2,52	2,37	2,20	2,06	1,94	1,87	1,83	1,80
50	7,17	5,06	4,20	3,72	3,41	3,19	3,02	2,89	2,79	2,70	2,42	2,27	2,10	1,95	1,82	1,76	1,71	1,68
60	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,95	2,82	2,72	2,63	2,35	2,20	2,03	1,88	1,75	1,68	1,63	1,60
80	6,96	4,88	4,04	3,56	3,26	3,04	2,87	2,74	2,64	2,55	2,27	2,12	1,94	1,79	1,66	1,58	1,53	1,49
100	6,90	4,82	3,98	3,51	3,21	2,99	2,82	2,69	2,59	2,50	2,22	2,07	1,89	1,73	1,60	1,52	1,47	1,43
200	6,76	4,71	3,88	3,41	3,11	2,89	2,73	2,60	2,50	2,41	2,13	1,97	1,79	1,63	1,48	1,39	1,33	1,28
500	6,69	4,65	3,82	3,36	3,05	2,84	2,68	2,55	2,44	2,36	2,07	1,92	1,74	1,56	1,41	1,31	1,23	1,16
∞	6,63	4,61	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41	2,32	2,04	1,88	1,70	1,52	1,36	1,25	1,15	1,00

TABLES DES DISTRIBUTIONS F DE SNEDECOR (suite) : $p = 0{,}5\ \%$

k_2 \ k_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	50	100	200	500	∞
	Les valeurs de la première ligne ($k_2 = 1$) doivent être multipliées par 100.																	
1	*162*	*200*	*216*	*225*	*231*	*234*	*237*	*239*	*241*	*242*	*246*	*248*	*250*	*252*	*253*	*254*	*254*	*255*
2	198	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	200	200
3	55,6	49,8	47,5	46,2	45,4	44,8	44,4	44,1	43,9	43,7	43,1	42,8	42,5	42,2	42,0	41,9	41,9	41,8
4	31,3	26,3	24,3	23,2	22,5	22,0	21,6	21,4	21,1	21,0	20,4	20,2	19,9	19,7	19,5	19,4	19,4	19,3
5	22,8	18,3	16,5	15,6	14,9	14,5	14,2	14,0	13,8	13,6	13,1	12,9	12,7	12,5	12,3	12,2	12,2	12,1
6	18,6	14,5	12,9	12,0	11,5	11,1	10,8	10,6	10,4	10,2	9,81	9,59	9,36	9,17	9,03	8,95	8,91	8,88
7	16,2	12,4	10,9	10,0	9,52	9,16	8,89	8,68	8,51	8,38	7.97	7,75	7,53	7,35	7,22	7,15	7,10	7,08
8	14,7	11,0	9,60	8,81	8,30	7,95	7,69	7,50	7,34	7,21	6,81	6,61	6,40	6,22	6,09	6,02	5,98	5,95
9	13,6	10,1	8,72	7,96	7,47	7,13	6,88	6,69	6,54	6,42	6,03	5,83	5,62	5,45	5,32	5,26	5,21	5,19
10	12,8	9,43	8,08	7,34	6,87	6,54	6,30	6,12	5,97	5,85	5,47	5,27	5,07	4,90	4,77	4,71	4,67	4,64
11	12,2	8,91	7,60	6,88	6,42	6,10	5,86	5,68	5,54	5,42	5,05	4,86	4,65	4,49	4,36	4,29	4,25	4,23
12	11,8	8,51	7,23	6,52	6,07	5,76	5,52	5,35	5,20	5,09	4,72	4,53	4,33	4,17	4,04	3,97	3,93	3,90
13	11,4	8,19	6,93	6,23	5,79	5,48	5,25	5,08	4,94	4,82	4,46	4,27	4,07	3,91	3,78	3,71	3,67	3,65
14	11,1	7,92	6,68	6,00	5,56	5,26	5,03	4,86	4,72	4,60	4,25	4,06	3,86	3,70	3,57	3,50	3,46	3,44
15	10,8	7,70	6,48	5,80	5,37	5,07	4,85	4,67	4,54	4,42	4,07	3,88	3,69	3,52	3,39	3,33	3,29	3,26
16	10,6	7,51	6,30	5,64	5,21	4,91	4,69	4,52	4,38	4,27	3,92	3,73	3,54	3,37	3,25	3,18	3,14	3,11
17	10,4	7,35	6,16	5,50	5,07	4,78	4,56	4,39	4,25	4,14	3,79	3,61	3,41	3,25	3,12	3,05	3,01	2,98
18	10,2	7,21	6,03	5,37	4,96	4,66	4,44	4,28	4,14	4,03	3,68	3,50	3,30	3,14	3,01	2,94	2,90	2,87
19	10,1	7,09	5,92	5,27	4,85	4,56	4,34	4,18	4,04	3,93	3,59	3,40	3,21	3,04	2.91	2,85	2,80	2,78
20	9,94	6,99	5,82	5,17	4,76	4,47	4,26	4,09	3,96	3,85	3,50	3,32	3,12	2,96	2,83	2,76	2,72	2,69
22	9,73	6,81	5,65	5,02	4,61	4,32	4,11	3,94	3,81	3,70	3,36	3,18	2,98	2,82	2,69	2,62	2,57	2,55
24	9,55	6,66	5,52	4,89	4,49	4,20	3,99	3,83	3,69	3,59	3,25	3,06	2,87	2,70	2,57	2,50	2,46	2,43
26	9,41	6,54	5,41	4,79	4,38	4,10	3,89	3,73	3,60	3,49	3.15	2,97	2,77	2,61	2,47	2,40	2,36	2,33
28	9,28	6,44	5,32	4,70	4,30	4.02	3,81	3,65	3,52	3,41	3,07	2,89	2,69	2,53	2,39	2,32	2,28	2,25
30	9,18	6,35	5,24	4,62	4,23	3,95	3,74	3,58	3,45	3,34	3,01	2,82	2,63	2,46	2,32	2,25	2,21	2,18
40	8,83	6,07	4,98	4,37	3,99	3,71	3,51	3,35	3,22	3,12	2,78	2,60	2,40	2,23	2,09	2,01	1,96	1,93
50	8,63	5,90	4,83	4,23	3,85	3,58	3,38	3,22	3,09	2,99	2,65	2,47	2,27	2,10	1,95	1,87	1,82	1,79
60	8,49	5,80	4,73	4,14	3,76	3,49	3,29	3,13	3,01	2,90	2,57	2,39	2,19	2,01	1,86	1,78	1,73	1,69
80	8,33	5,67	4,61	4,03	3,65	3,39	3,19	3,03	2,91	2,80	2,47	2,29	2,08	1,90	1,75	1,66	1,60	1,56
100	8,24	5,59	4,54	3,96	3,59	3,33	3,13	2,97	2,85	2,74	2,41	2,23	2,02	1,84	1,68	1,59	1,53	1,49
200	8,06	5,44	4,41	3,84	3,47	3,21	3,01	2,85	2,73	2,63	2,30	2,11	1,91	1,71	1,54	1,44	1,37	1,31
500	7,95	5,36	4,33	3,76	3,40	3,14	2,94	2,79	2,66	2,56	2,23	2,04	1,84	1,64	1,46	1,35	1,26	1,18
∞	7,88	5,30	4,28	3,72	3,35	3,09	2,90	2,74	2,62	2,52	2,19	2,00	1,79	1,59	1,40	1,28	1,17	1,00

TABLES DES DISTRIBUTIONS F DE SNEDECOR (suite) : $p = 0{,}1\ \%$

k_2 \ k_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	50	100	200	500	∞
	Les valeurs de la première ligne ($k_2 = 1$) doivent être multipliées par 1.000.																	
1	*405*	*500*	*540*	*562*	*576*	*586*	*593*	*598*	*602*	*606*	*616*	*621*	*626*	*630*	*633*	*635*	*636*	*637*
2	998	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
3	168	148	141	137	135	133	132	131	130	129	127	126	125	125	124	124	124	124
4	74,1	61,2	56,2	53,4	51,7	50,5	49,7	49,0	48,5	48,0	46,8	46,1	45,4	44,9	44,5	44,3	44,1	44,0
5	47,0	36,6	33,2	31,1	29,8	28,8	28,2	27,6	27,2	26,9	25,9	25,4	24,9	24,4	24,1	23,9	23,8	23,8
6	35,5	27,0	23,7	21,9	20,8	20,0	19,5	19,0	18,7	18,4	17,6	17,1	16,7	16,3	16,0	15,9	15,8	15,8
7	29,2	21,7	18,8	17,2	16,2	15,5	15,0	14,6	14,3	14,1	13,3	12,9	12,5	12,2	11,9	11,8	11,7	11,7
8	25,4	18,5	15,8	14,4	13,5	12,9	12,4	12,0	11,8	11,5	10,8	10,5	10,1	9,80	9,57	9,46	9,39	9,34
9	22,9	16,4	13,9	12,6	11,7	11,1	10,7	10,4	10,1	9,89	9,24	8,90	8,55	8,26	8,04	7,93	7,86	7,81
10	21,0	14,9	12,6	11,3	10,5	9,92	9,52	9,20	8,96	8,75	8,13	7,80	7,47	7,19	6,98	6,87	6,81	6,76
11	19,7	13,8	11,6	10,4	9,58	9,05	8,66	8,35	8,12	7,92	7,32	7,01	6,68	6,41	6,21	6,10	6,04	6,00
12	18,6	13,0	10,8	9,63	8,89	8,38	8,00	7,71	7,48	7,29	6,71	6,40	6,09	5,83	5,63	5,52	5,46	5,42
13	17,8	12,3	10,2	9,07	8,35	7,86	7,49	7,21	6,98	6,80	6,23	5,93	5,62	5,37	5,17	5,07	5,01	4,97
14	17,1	11,8	9,73	8,62	7,92	7,43	7,08	6,80	6,58	6,40	5,85	5,56	5,25	5,00	4,80	4,70	4,64	4,60
15	16,6	11,3	9,34	8,25	7,57	7,09	6,74	6,47	6,26	6,08	5,53	5,25	4,95	4,70	4,51	4,41	4,35	4,31
16	16,1	11,0	9,00	7,94	7,27	6,81	6,46	6,19	5,98	5,81	5,27	4,99	4,70	4,45	4,26	4,16	4,10	4,06
17	15,7	10,7	8,73	7,68	7,02	6,56	6,22	5,96	5,75	5,58	5,05	4,78	4,48	4,24	4,05	3,95	3,89	3,85
18	15,4	10,4	8,49	7,46	6,81	6,35	6,02	5,76	5,56	5,39	4,87	4,59	4,30	4,06	3,87	3,77	3,71	3,67
19	15,1	10,2	8,28	7,26	6,61	6,18	5,84	5,59	5,39	5,22	4,70	4,43	4,14	3,90	3,71	3,61	3,55	3,51
20	14,8	9,95	8,10	7,10	6,46	6,02	5,69	5,44	5,24	5,08	4,56	4,29	4,01	3,77	3,58	3,48	3,42	3,38
22	14,4	9,61	7,80	6,81	6,19	5,76	5,44	5,19	4,99	4,83	4,32	4,06	3,77	3,53	3,34	3,25	3,19	3,15
24	14,0	9,34	7,55	6,59	5,98	5,55	5,23	4,99	4,80	4,64	4,14	3,87	3,59	3,35	3,16	3,07	3,01	2,97
26	13,7	9,12	7,36	6,41	5,80	5,38	5,07	4,83	4,64	4,48	3,99	3,72	3,45	3,20	3,01	2,92	2,86	2,82
28	13,5	8,93	7,19	6,25	5,66	5,24	4,93	4,69	4,50	4,35	3,86	3,60	3,32	3,08	2,89	2,79	2,73	2,70
30	13,3	8,77	7,05	6,12	5,53	5,12	4,82	4,58	4,39	4,24	3,75	3,49	3,22	2,98	2,79	2,69	2,63	2,59
40	12,6	8,25	6,60	5,70	5,13	4,73	4,43	4,21	4,02	3,87	3,40	3,15	2,87	2,64	2,44	2,34	2,28	2,23
50	12,2	7,95	6,34	5,46	4,90	4,51	4,22	4,00	3,82	3,67	3,20	2,95	2,68	2,44	2,24	2,14	2,07	2,03
60	12,0	7,76	6,17	5,31	4,76	4,37	4,09	3,87	3,69	3,54	3,08	2,83	2,56	2,31	2,11	2,01	1,93	1,89
80	11,7	7,54	5,97	5,13	4,58	4,21	3,92	3,70	3,53	3,39	2,93	2,68	2,40	2,16	1,95	1,84	1,77	1,72
100	11,5	7,41	5,85	5,01	4,48	4,11	3,83	3,61	3,44	3,30	2,84	2,59	2,32	2,07	1,87	1,75	1,68	1,62
200	11,2	7,15	5,64	4,81	4,29	3,92	3,65	3,43	3,26	3,12	2,67	2,42	2,15	1,90	1,68	1,55	1,46	1,39
500	11,0	7,01	5,51	4,69	4,18	3,82	3,54	3,33	3,16	3,02	2,58	2,33	2,05	1,80	1,57	1,43	1,32	1,23
∞	10,8	6,91	5,42	4,62	4,10	3,74	3,47	3,27	3,10	2,96	2,51	2,27	1,99	1,73	1,49	1,34	1,21	1,00

TABLES DES DISTRIBUTIONS F DE SNEDECOR (suite) : $p = 0{,}05$ %

k_2 \ k_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	50	100	200	500	∞
	Les valeurs de la première ligne ($k_2 = 1$) doivent être multipliées par 10.000; celles de la deuxième ligne ($k_2 = 2$) par 10.																	
1	*162*	*200*	*216*	*225*	*231*	*234*	*237*	*239*	*241*	*242*	*246*	*248*	*250*	*252*	*253*	*253*	*254*	*254*
2	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*	*200*
3	266	237	225	218	214	211	209	208	207	206	203	201	199	198	197	197	196	196
4	106	87,4	80,1	76,1	73,6	71,9	70,6	69,7	68,9	68,3	66,5	65,5	64,6	63,8	63,2	62,9	62,7	62,6
5	63,6	49,8	44,4	41,5	39,7	38,5	37,6	36,9	36,4	35,9	34,6	33,9	33,1	32,5	32,1	31,8	31,7	31,6
6	46,1	34,8	30,4	28,1	26,6	25,6	24,9	24,3	23,9	23,5	22,4	21,9	21,4	20,9	20,5	20,3	20,2	20,1
7	37,0	27,2	23,5	21,4	20,2	19,3	18,7	18,2	17,8	17,5	16,5	16,0	15,5	15,1	14,7	14,6	14,5	14,4
8	31,6	22,8	19,4	17,6	16,4	15,7	15,1	14,6	14,3	14,0	13,1	12,7	12,2	11,8	11,6	11,4	11,4	11,3
9	28,0	19,9	16,8	15,1	14,1	13,3	12,8	12,4	12,1	11,8	11,0	10,6	10,2	9,80	9,53	9,40	9,32	9,26
10	25,5	17,9	15,0	13,4	12,4	11,8	11,3	10,9	10,6	10,3	9,56	9,16	8,75	8,42	8,16	8,04	7,96	7,90
11	23,6	16,4	13,6	12,2	11,2	10,6	10,1	9,76	9,48	9,24	8,52	8,14	7,75	7,43	7,18	7,06	6,98	6,93
12	22,2	15,3	12,7	11,2	10,4	9,74	9,28	8,94	8,66	8,43	7,74	7,37	7,00	6,68	6,45	6,33	6,25	6,20
13	21,1	14,4	11,9	10,5	9,66	9,07	8,63	8,29	8,03	7,81	7,13	6,78	6,42	6,11	5,88	5,76	5,69	5,64
14	20,2	13,7	11,3	9,95	9,11	8,53	8,11	7,78	7,52	7,31	6,65	6,31	5,95	5,66	5,43	5,31	5,24	5,19
15	19,5	13,2	10,8	9,48	8,66	8,10	7,68	7,36	7,11	6,91	6,27	5,93	5,58	5,29	5,06	4,94	4,87	4,83
16	18,9	12,7	10,3	9,08	8,29	7,74	7,33	7,02	6,77	6,57	5,94	5,61	5,27	4,98	4,76	4,64	4,57	4,52
17	18,4	12,3	9,99	8,75	7,98	7,44	7,04	6,73	6,49	6,29	5,67	5,34	5,01	4,72	4,50	4,39	4,32	4,27
18	17,9	11,9	9,69	8,47	7,71	7,18	6,78	6,48	6,24	6,05	5,44	5,12	4,78	4,50	4,28	4,17	4,10	4,06
19	17,5	11,6	9,42	8,23	7,48	6,95	6,57	6,27	6,03	5,84	5,25	4,92	4,59	4,31	4,09	3,98	3,91	3,87
20	17,2	11,4	9,20	8,02	7,28	6,76	6,38	6,08	5,85	5,66	5,07	4,75	4,42	4,15	3,93	3,82	3,75	3,70
22	16,6	11,0	8,82	7,67	6,94	6,44	6,07	5,78	5,55	5,36	4,79	4,47	4,15	3,88	3,66	3,55	3,48	3,44
24	16,2	10,6	8,52	7,39	6,68	6,18	5,82	5,54	5,31	5,13	4,55	4,25	3,93	3,66	3,44	3,33	3,27	3,22
26	15,8	10,3	8,27	7,16	6,46	5,98	5,62	5,34	5,12	4,94	4,37	4,07	3,75	3,48	3,27	3,16	3,09	3,04
28	15,5	10,1	8,07	6,98	6,28	5,80	5,45	5,18	4,96	4,78	4,22	3,92	3,61	3,34	3,13	3,01	2,95	2,90
30	15,2	9,90	7,90	6,82	6,14	5,66	5,31	5,04	4,82	4,65	4,10	3,80	3,48	3,22	3,00	2,89	2,82	2,78
40	14,4	9,25	7,33	6,30	5,64	5,19	4,85	4,59	4,38	4,21	3,68	3,39	3,08	2,82	2,60	2,49	2,41	2,37
50	13,9	8,88	7,01	6,01	5,37	4,93	4,60	4,34	4,14	3,98	3,45	3,16	2,86	2,59	2,37	2,25	2,17	2,13
60	13,6	8,65	6,81	5,82	5,20	4,76	4,44	4,18	3,98	3,82	3,30	3,02	2,71	2,45	2,23	2,11	2,03	1,98
80	13,2	8,37	6,57	5,60	4,99	4,56	4,24	4,00	3,80	3,65	3,13	2,85	2,54	2,27	2,05	1,92	1,84	1,79
100	13,0	8,21	6,43	5,47	4,87	4,44	4,13	3,89	3,70	3,54	3,03	2,75	2,44	2,18	1,95	1,82	1,74	1,67
200	12,5	7,90	6,16	5,23	4,64	4,23	3,92	3,68	3,49	3,34	2,83	2,56	2,25	1,98	1,74	1,60	1,50	1,42
500	12,3	7,72	6,01	5,09	4,51	4,10	3,80	3,56	3,36	3,21	2,72	2,45	2,14	1,87	1,61	1,46	1,34	1,24
∞	12,1	7,60	5,91	5,00	4,42	4,02	3,72	3,48	3,30	3,14	2,65	2,37	2,07	1,79	1,53	1,36	1,22	1,00

CHAPITRE XXVI

FORMULAIRE

1. UNITES ET CONVERSION

1.1. Unités de mesure et unités usuelles des systèmes internationaux (S. I.), MTS. CGS

Symboles et équivalences entre unités usuelles en France et en pays d'expression française.

La loi du 2 avril 1919 modifiée par la loi du 14 janvier 1948 (décrets du 26 juillet 1959 et du 28 février 1948) avait institué le Système M.T.S. comme le seul légal en France et dans les pays d'expression française.

Depuis, le décret du 3 mai 1961 paru dans le J. O. du 20 mai 1961 a établi que le système M.K.S.A. serait le seul légal, il a l'avantage de correspondre au système international (S.I.). Les unités de mesure sont définies par les normes AFNOR × 02.002 publiées en mars 1962.

Les tableaux des pages 1455 à 1464 établissent les correspondances entre le Système légal et les Systèmes M.T.S., C.G.S. ou autres unités encore en usage.

UNITES DE MESURES DU SYSTEME INTERNATIONAL

Le **mètre** est la longueur égale à 1 650 763,73 longueurs d'onde, dans le vide, de la radiation correspondant à la transmission entre les niveaux $2\,P_{10}$ et $5\,d_5$ de l'atome de Krypton 86.

Le **kilogramme** est la masse du prototype en platine iridié, sanctionné par la Conférence générale des poids et mesures en 1889 et déposé au pavillon de Breteuil à Sèvres.

La **seconde** de temps est la fraction 1/31 556 925,9747 de l'année tropique pour 1900, janvier zéro, à 12 heures de temps des éphémérides.

L'**ampère** est l'intensité d'un courant électrique constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produit, entre ces conducteurs une force de 2×10^7 newton par mètre de longueur, le newton étant l'unité de force du système international.

Le **degré Kelvin** est le degré de l'échelle thermodynamique des températures absolues, dans laquelle la température du point triple de l'eau est 273,16 degrés. On peut employer l'échelle Celsius, dont le degré est égal au degré Kelvin et dont le zéro correspond à 273,15 degrés de l'échelle thermodynamique Kelvin ci-dessus définie.

La **candela** est l'intensité lumineuse, dans une direction déterminée, d'une ouverture perpendiculaire à cette direction, ayant une aire de 1/60 de centimètre carré et rayonnant comme un radiateur intégral (corps noir) à la température de solidification du platine.

Le **mètre carré** est l'aire d'un carré ayant 1 mètre de côté.

Le **mètre cube** est le volume d'un cube ayant 1 mètre carré de côté.

Le **radian** est l'angle qui, ayant son sommet au centre d'un cercle, intercepte sur la circonférence de ce cercle un arc d'une longueur égale à celle du rayon du cercle.

Le **stéradian** est l'angle solide qui, ayant son sommet au centre d'une sphère, découpe sur la surface de cette sphère une aire équivalente à celle d'un carré dont le côté est égal au rayon de la sphère.

Le **kilogramme par mètre cube** est la masse volumique d'un corps dont la masse est de 1 kilogramme et le volume de 1 mètre cube.

Le **degré alcoométrique** centésimal est le degré de l'échelle alcoométrique centésimale de Gay-Lussac dans laquelle le titre alcoométrique de l'eau pure est 0 (zéro) et celui de l'alcool absolu 100 (cent).

Le **hertz** est la fréquence d'un phénomène périodique dont la période est 1 seconde.

Le **mètre par seconde** correspond à la vitesse d'un mobile qui, animé d'un mouvement uniforme, parcourt une distance de 1 mètre en 1 seconde.

Le **mètre/sec. carré** (m/s^2) correspond à l'accélération d'un mobile, animé d'un mouvement uniformément varié, dont la vitesse varie, en 1 seconde, de 1 mètre par seconde.

Le **newton** est la force qui communique à un corps ayant une masse de 1 kilogramme une accélération de 1 mètre par seconde.

Le **joule** est le travail produit par 1 newton dont le point d'application se déplace de 1 mètre dans la direction de la force.

Le **watt** est la puissance de 1 joule par seconde.

Le **pascal** est la contrainte qui, agissant sur une surface plane de 1 mètre carré, exerce sur cette aire une force totale de 1 newton.

Le **poiseuille** est la viscosité dynamique d'un fluide dans lequel le mouvement rectiligne et uniforme, dans son plan, d'une surface plane, solide, indéfinie, donne lieu à une force retardatrice de 1 newton par mètre carré de la surface en contact avec le fluide en écoulement relatif devenu permanent, lorsque le gradient de la vitesse du fluide, à la surface du solide et par mètre d'écartement normal à ladite surface, est de 1 mètre par seconde.

Le **volt** est la différence de potentiel électrique qui existe entre deux points d'un fil conducteur parcouru par un courant constant de 1 ampère, lorsque la puissance dissipée entre ces deux points est égale à 1 watt.

L'**ohm** est la résistance électrique qui existe entre deux points d'un fil conducteur lorsqu'une différence de potentiel constante de 1 volt, appliquée entre ces deux points, produit dans ce conducteur un courant de 1 ampère, ledit conducteur n'étant le siège d'aucune force électromotrice.

Le **coulomb** est la quantité d'électricité transportée en 1 seconde par un courant de 1 ampère.

Le **farad** est la capacité d'un conducteur électrique entre les armatures duquel apparaît une différence de potentiel de 1 volt, lorsqu'il est chargé d'une quantité d'électricité de 1 coulomb.

Le **henry** est l'inductance d'un circuit fermé dans lequel une force électromotrice de 1 volt est produite lorsque le courant électrique qui parcourt le circuit varie uniformément à raison de 1 ampère par seconde.

Le **weber** est le flux magnétique qui, traversant un circuit d'une seule spire, y produit une force électromotrice de 1 volt, si on l'amène à zéro en 1 seconde, par décroissance uniforme.

Le **tesla** est l'induction magnétique uniforme qui, répartie normalement sur une surface de 1 mètre carré, produit à travers cette surface un flux magnétique total de 1 weber.

Le **lumen** est le flux lumineux émis dans un stéradian par une source ponctuelle uniforme située au sommet de l'angle solide et ayant une intensité de 1 candela.

Le **lux** est l'éclairement d'une surface qui reçoit normalement, d'une manière uniformément répartie, un flux lumineux de 1 lumen par mètre carré.

La **candela** par mètre carré est la luminance d'une source dont l'intensité lumineuse est 1 candela et la surface 1 mètre carré.

La **dioptrie** est la vergence d'un système optique dont la distance focale est 1 mètre, dans un milieu dont l'indice de réfraction est 1.

ALPHABET GREC

A α *a* alpha	H η *e* êta	N ν *n* nu	T τ *t* tau
B ϐ β *b* bêta	Θ θ *t* aspiré : thêta	Ξ ξ *ks* ksi	Υ υ *u* upsilon
Γ γ *g* gamma	I ι *i* iota	O ο *o* omicron	Φ φ *p* aspiré : phi
Δ δ *d* delta	K κ *k* kappa	Π π *p* pi	X χ *k* aspiré : khi
E ε *e* epsilon	Λ λ *l* lambda	P ρ *r* rô	Ψ ψ *ps* psi
Z ζ *dz* dzéta	M μ *m* mu	Σ σ, ς *s* sigma	Ω ω *o* oméga

TABLEAU DES MULTIPLES ET SOUS-MULTIPLES DECIMAUX

Facteur par lequel est multipliée l'unité	Préfixe à mettre avant le nom de l'unité	Symbole à mettre avant celui de l'unité
10^{12} ou 1 000 000 000 000	téra	T
10^{9} ou 1 000 000 000	giga	G
10^{6} ou 1 000 000	méga	M
10^{3} ou 1 000	kilo	k
10^{2} ou 100	hecto	h
10^{1} ou 10	déca	da
10^{0} ou 1	—	—
10^{-1} ou 0,1	déci	d
10^{-2} ou 0,01	centi	c
10^{-3} ou 0,001	milli	m
10^{-6} ou 0,000 001	micro	μ
10^{-9} ou 0,000 000 001	nano	n
10^{-12} ou 0,000 000 000 001	pico	p

Nature des Unités	Unités M.K.S.A. (Système International)		Unités M.T.S.			Unités C.G.S.			Autres unités usuelles		
	Nom	Symbole	Nom	Symbole	Valeur en M.K.S.A.	Nom	Symbole	Valeur en M.K.S.A.	Nom	Symbole	Valeur
I. — UNITES GEOMETRIQUES											
Longueur L	Mètre	m	Mètre	m	1 m	Centimètre	cm	10^{-2}m	Angstrom Degré longitude Mile marin (degré longitude (nautical mile) = 60 minutes d'angle) Année lumière Parsec Micromètre (micron)	A° μm	10^{-10} m 111,12 km 1 852 m $9,5 \times 10^{15}$ m $30,8 \times 10^{15}$ m 10^{-6} m
Surface S	Mètre carré	m^2	Mètre carré	m^2	1 m^2	Centimètre carré	cm^2	$10^{-4}m^2$	Are	a	$10^2 m^2$
Volume V	Mètre cube	m^3	Mètre cube	m^3	1 m^3	Centimètre cube	cm^3	$10^{-6}m^3$	Litre Stere Tonneau de jauge	l st	$10^{-3}m^3$ 1 m^3 2,83 m^3
Angle plan α	Radian	rd (rad)							Degré Minute Seconde Grade Tour	° ′ ″ gr tr	0,0174 rd $(\frac{\pi}{180})$ $(\frac{1}{60})^\circ$ $(\frac{1}{3\,600})^\circ$ 0,0157 rd $\frac{\pi}{200}$ 6,2832 rd = 2π
Angle solide Ω	Stéradian	sr							Spat	sp	4π sr
II. — UNITES DE MASSE									Microgramme Carat Quintal	μg q	10^{-6}g 0,2 g 100 kg
Masse m	Kilogramme	kg	Tonne	t	10^3 kg	Gramme	g	10^{-3}kg			
III. — UNITES DE TEMPS											
Temps t	Seconde	s	Seconde	s	1 s	Seconde	s	1 s	Minute Heure jour	mn 	60 s 3600 s 86400 s

Nature des Unités	Unités M.K.S.A. (Système International)		Unités M.T.S.			Unités C.G.S.			Autres unités usuelles		
	Nom	Symbole	Nom	Symbole	Valeur en M.K.S.A	Nom	Symbole	Valeur en M.K.S.A	Nom	Symbole	Valeur
IV. — UNITES MECANIQUES											
Vitesse v	Mètre par seconde	m/s				Centimètre par seconde	cm/s	10^{-2} m/s	Kilomètre par heure Nœud (mile à l'heure)	km/h	$\frac{1}{3,6}$ m/s 0,514 m/s
Accélération $\vec{\omega}$	Mètre par seconde par seconde	m/s^2				Centimètre par seconde par seconde ou gal	cm/s^2	10^{-2} m/s^2			
Vitesse angulaire $\frac{\alpha}{t}$	Radian par seconde	rd/s							Tour par seconde Tour par minute	tr/s tr/mn	2π rd/s $\frac{2\pi}{60}$ rd/s
Fréquence f	Hertz	Hz							Cycle par seconde	c/s	1 Hz
Force F	Newton	N	Stène	sn	10^3N	Dyne	dyn	10^{-5}N	Kilogramme force	kgf	9,806 N
Moment M	Metre-newton	m N									
Energie W	Joule	J	Kilojoule	kj	10^3J	Erg		10^{-7}J	Kilogrammètre Cheval heure Kilowatt heure Electronvolt Calorie Thermie Frigorie	kgm ch h kWh eV cal th fg	9,806 J 2 65 × 10^6J 3,6 × 10^6J 1,59 × 10^{-19}J 4,1855 J 10^6cal 10^3cal
Puissance P	Watt	W	Kilowatt	kW	10^3W	Erg/seconde	erg/s	10^{-7}W	Cheval-vapeur Poncelet	ch	735,5 W 980 W
Pression P	Pascal	Pa	Prèze	pz	10^3Pa	Barye ou dyne/cm^2	Barye	10^{-1} Pa ou 10^{-6}bar	Bar ou Hectopieze	bar hpz	10^5Pa 10^5Pa
Viscosité dynamique n	Poiseuille	Pl				Poise	P/	10^{-1} Pl	Milli poiseuille	mPl	10^{-3} Pl
Viscosité cinématique	Mètre carré par seconde	m^2/s				Centimètre carré par seconde ou Stokes	cm^2/s St				
V. — UNITES CALORIFIQUES											
Température T	Degre Kelvin (absolu)	°K				Degré Celsius			Degré Centigrade	°C	°K = °C + 273
Quantité de chaleur (voir énergie)	Joule	J	Thermie	th	$4,18 \times 10^6$J	Calorie (petite)	cal	4,185 J	Grande calorie ou kilocalorie Frigorie	K cal fg	4,185 kJ 1 kcal
VI. — UNITES OPTIQUES											
Convergence C	Dioptrie	δ	Dioptrie	δ							
Intensité lumineuse J	Candela	cd	Bougie nouvelle	B	1 cd				Anciennes unités : Violle Carcel		2,04 cd 9,8 cd
Flux lumineux Φ	Lumen nouveau	lm	Lumen nouveau	lm							
Eclairement $E = \frac{\Phi}{m^2}$	Lux nouveau	lx (lm/m^2)				Phot	ph	10^4lx			
Brillance ou Luminance $B = \frac{J}{S}$	Candela par mètre carré ou nit	cd/m^2 nt				Candela par centimètre carré ou stib	cd/cm^2 (sb)	10^4cd/m^2			

Nature des Unités	Unités M.K.S.A. (Système International)		Unités M.T.S.			Unités C.G.S.			Autres unités usuelles		
	Nom	Symbole	Nom	Symbole	Valeur en M.K.S.A.	Nom	Symbole	Valeur en M.K.S.A.	Nom	Symbole	Valeur
VII. — UNITES ELECTRIQUES ET MAGNETIQUES											
Intensité de courant électrique I	Ampère	A									
Quantité d'électricité $Q = It$	Coulomb	C							Ampère heure	Ah	3.600 C
									électron	e	$1{,}60 \times 10^{-19}$ C
Différence de potentiel (ou tension) $v = \frac{P}{I}$	Volt	V									
Intensité de champ électrique $I = \frac{U}{L}$	Volt par mètre	V/m									
Puissance $P = vJ$	Watt ou volt ampère (1)	W	Kilovolt ampère	k VA	10^3 W						
Résistance électrique $R = \frac{U}{I}$	Ohm	Ω	Nanohm	n Ω	10^{-9} Ω				Megohm	M Ω	10^6 Ω
									Microhm	μ Ω	10^{-6} Ω
Capacité électrique $C = \frac{Q}{U}$	Farad	F	Gigafarad	GF	10^9 F						
Inductance électrique	Henry	H							Millimho	mm Ω^{-1}	$10^{-3}\ \Omega^{-1}$
Conductance	Siemens (ou mho)	S (Ω^{-1})							Micromho	μ Ω^{-1}	$10^{-6}\ \Omega^{-1}$
Flux magnétique	Weber	Wb							Maxwell	M	10^{-8} Wb
Induction magnétique	Tesla ou wb/m²	T							Gauss	G ou Gs	10^{-4} T
Force magnétomotrice	Ampère	A									
Intensité de champ magnétique	Ampère par mètre	A/m				Oersted	Oe	$\frac{10^3}{4\pi}$ A/m			
VIII. — UNITES DE LA RADIOACTIVITE											
Activité nucléaire	Curie	Ci									
Quantité de rayonnement (X ou γ)	Roentgen	R									

(1) Quand $\cos \varphi = 1$.

1.2. Table d'équivalence des principales mesures anglo-saxonnes et métriques

Pour passer de B à C, multiplier par D

Pour passer de C à B, multiplier par A

A	B	C	D
	LONGUEURS		
0,394	Inch (1 in)	centimètre	2,54
3,281	Foot (1 ft)	mètre	0,308
1,094	Yard (1 yd)	mètre	0,914
0,612	Mile (statute)	kilomètre	1,60864
69,17	Mile (statute)	degré de longitude	0,014
0,540	Mile (nautical)	kilomètre	1,85327
	SURFACES		
0,155	Square (Sq in)	centimètre carré	6,452
10,764	Square foot (Sq ft)	mètre carré	0,0929
1,196	Square yard (Sq yd)	mètre carré	0,836
2,471	Acre	hectare	0,4046
0,386	Square mile	kilomètre carré	2,590
	VOLUMES		
0,061	Cubic inch	centimètre cube	16,387
35,315	Cubic foot	mètre cube	0,0283
1,308	Cubic yard	mètre cube	0,764
	VOLUMES LIQUIDES		
0,880	Impérial quart	litre	1,136
1,057	US quart	litre	0,946
0,220	Imp. gal (1,201 US gal)	litre	4,546
0,264	US gal (0,833 Imp. gal)	litre	3,785
2,750	Imp. bushel (1,032 US bu)	hectolitre	0,3634
2,838	US bushel (0,969 Imp. bu)	hectolitre	0,3523
2,1	Pint (1/8 de gal)	litre	0,473 (USA) 0,568 (G-B)
	POIDS (mesures pharmaceutiques)		
15,432	Grain	gramme	0,065
0,032	Ounce (480 grains)	gramme	31,20
2,674	Pound (5 760 grains)	kilogramme	0,3732

Pour passer de B à C, multiplier par D

Pour passer de C à B, multiplier par A

A	B	C	D
	POIDS (avoir du poids)		
0,035	Ounce	gramme	28,350
2,205	Pound (lb)	kilogramme	0,4535
1,968	Hundred weight (CWt) 4814 (1)	quintal	0,508
1,102	Short ton (2.000 lb) = 0,893 long ton	tonne métrique	0,907
0,984	Long ton (2.240 lb) = 1,12 short ton	tonne métrique	1,016
	VITESSES		
0,621	Mile (statute) per hour	kilomètre à l'heure	1,609
0,540	Knot (1 nautical mile/h)	kilomètre à l'heure	1,853
3,281	Foot per second	mètre par seconde	0,305
	CONCENTRATIONS		
0,160	Ounce per Imp. gallon	gramme par litre	6,236
0,134	Ounce per US gallon	gramme par litre	7,490
	RENDEMENTS		
0,892	Pound per acre	kilogramme par hectare	1,121
89,218	Pound per acre	quintal par hectare	0,011
0,008	Hundredweight per acre	kilogramme par hectare	125,54
0,796	Hundredweight per acre	quintal par hectare	1,255
0,040	Short ton per acre	quintal par hectare	22,42
0,089	Imp. Gallon per acre	litre par hectare	11,21
1,148	Bushel per acre	hectolitre par hectare	0,862
1,487	Bushel per acre (blé)	quintal par hectare (blé)	0,672
1,549	Bushel per acre (maïs)	quintal par hectare (maïs)	0,627
1,859	Bushel per acre (orge)	quintal par hectare (orge)	0,538
	POIDS PAR UNITE DE VOLUME		
0,752	Long ton/cu. yd	t/m^3	1,329
0,843	Short ton/cu. yd	t/m^3	1,186
1,685	lb/cu. yd	kg/m^3	0,593

(1) Il existe un hundred weight short correspondant à 45,36 kg = 100 lb en usage aux U.S.A.

Pour passer de B à C, multiplier par D

Pour passer de C à B, multiplier par A

A	B	C	D
	POIDS PAR UNITE DE VOLUME (suite)		
36,127	lB/cu in	kg/cm³	0,027
0,578	oz/cu in	g/cm³	1,730
0,224	CWt/imp. quarter	kg/dm³	44,700
10,022	lb/imp. gallon	kg/dm³	0,0998
8,345	lb/U.S.A. gallon	kg/dm³	0,1198
1,044	lb/pint	kg/dm³	0,9584
	POIDS PAR UNITE DE SURFACE		
0,823	Long ton/sq yd	t/m²	1,215
0,922	Short ton/sq yd	t/m²	1,085
1,843	lb/sq. yd	kg/m²	0,542
3,277	oz/sq. ft	kg/m²	0,305
0,227	oz/sq. in	g/cm²	4,394
0,89	lb/acre	kg/ha	1,12
	VOLUME PAR UNITE DE SURFACE		
14,30	cu. ft/acre	m³/ha	0,070
0,053	cu. yd/acre	dm³/are	18,88
	PUISSANCES		
0,737	foot pound per sec (ft/lb/sec)	watt	1,356
0,986	horse power H.P.	cheval vapeur (ch)	1,013
	ENERGIE		
0,25	B.T.U. (British thermal unit)	frigorie - calorie	4
	CONSOMMATIONS KILOMETRIQUES		
0,0042	mile per US gallon	litre aux 100 km	235,2
0,0035	mile per Imp gallon	litre aux 100 km	282,5

1.3. Puissance

Tableau de conversion des Chevaux-vapeur en kilowatts

1 ch = 75 kg m/s = 735,5 W = 0,7355 kW; 1 kW = 1,36 ch

ch	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		0,74	1,47	2,21	2,94	3,68	4,41	5,15	5,88	6,62
10	7,35	8,09	8,83	9,56	10,36	11,03	11,77	12,50	13,24	13,97
20	14,71	15,45	16,18	16,92	17,65	18,39	19,12	19,86	20,59	21,33
30	22,06	22,80	23,54	24,27	25,01	25,74	26,48	27,21	27,95	28,68
40	29,42	30,16	30,89	31,63	32,36	33,10	33,83	34,57	35,30	36,04
50	36,77	37,51	38,25	38,98	39,72	40,45	41,19	41,92	42,66	43,39
60	44,13	44,87	45,60	46,34	47,07	47,81	48,54	49,28	50,01	50,75
70	51,48	52,22	52,96	53,69	54,43	55,16	55,90	56,63	57,37	58,10
80	58,84	59,58	60,31	61,05	61,78	62,52	63,25	63,99	64,72	65,46
90	66,19	66,93	67,67	68,40	69,14	69,87	70,61	71,34	72,08	72,81
100	73,55	74,29	75,02	75,76	76,49	77,23	77,96	78,70	79,43	80,17
110	80,90	81,64	82,38	83,11	83,85	84,58	85,32	86,05	86,79	87,52
120	88,26	89,00	89,73	90,47	91,20	91,94	92,67	93,41	94,14	94,88
130	95,61	96,35	97,09	97,82	98,56	99,29	100,0	100,8	101,5	102,2
140	103,0	103,7	104,4	105,2	105,9	106,6	107,4	108,1	108,9	109,6
150	110,3	111,1	111,8	112,5	113,3	114,0	114,7	115,5	116,2	116,9
160	117,7	118,4	119,1	119,9	120,6	121,4	122,1	122,8	123,6	124,3
170	125,0	125,8	126,5	127,2	128,0	128,7	129,4	130,2	130,9	131,7
180	132,4	133,1	133,9	134,6	135,3	136,1	136,8	137,5	138,3	139,0
190	139,7	140,5	141,2	142,0	142,7	143,4	144,2	144,9	145,6	146,4
200	147,1	147,8	148,6	149,3	150,0	150,8	151,5	152,2	153,0	153,7
210	154,5	155,2	155,9	156,7	157,4	158,1	158,9	159,6	160,3	161,0
220	161,8	162,5	163,3	164,0	164,8	165,5	166,2	167,0	160,7	168,4
230	169,2	169,9	170,6	171,4	172,1	172,8	173,6	174,3	175,0	175,8
240	176,5	177,6	178,0	178,7	179,5	180,2	180,9	181,7	182,4	183,1
250	183,9	184,6	185,3	186,1	186,8	187,6	188,3	189,0	189,7	190,5

1.4. Table d'équivalence de diverses unités mondiales

Les équivalences dans le Système Impérial ont été décimalisées.

Unité	Pays	Equivalence dans le système métrique	Equivalence dans le système impérial
Aliqueire	Brésil	2,42 ha	5,98 acre
Archine	U.R.S.S.	0,71 m	2,33 ft
Arroba	Espagne	11,5 kg	25,31 pounds
Bushel	Commonwealth	36,35 l	0,8 imp. gal
Caballeria	Guatemala	45,00 ha	111,20 acre
Candy	Inde	254,2 kg	560,0 lb
Catty ou kin	Thaïlande, Chine	0,604 kg	1 1/3 lb
Chain	Royaume Uni	20,1 m	22,0 yd
Déciatine	U.R.S.S.	1,09 ha	2,7 acre
Dirhem	Egypte	3,12 g	48,15 grain
Fanega	Espagne	57,4 l	1,58 bu
Feddan	Egypte	0,420 ha	1,038 acre
Foot	Commonwealth	30,5 cm	12,0 in.
Foot	Maurice	32,5 cm	12,8 in.
Foot	Afrique du Sud	31,5 cm	12,375 in.
Furlong	Royaume Uni	201,0 cm	10,0 chain
Gallon	Commonwealth	4,546 l	8,0 pint
Guz	Inde	0,914 m	1 yd
Hundredweight	Royaume Uni	50,802 kg	112,0 lb
Kantar, Cantaro	Espagne - Cuba	46,0 kg	0,9 cut.
ou Quantar	Egypte	45,0 kg	99,05 lb
Koh	Japon	0,99 ha	2,45 acre
Libra ou Arratel	Espagne	0,46 kg	1,014 lb
Livre	Maurice	0,5 kg	1,102 lb

Maund	Etats arabes	25,42 kg	56,0 lb
	Inde (Bombay)	12,71 kg	28,0 lb
Morgen	Afrique du Sud	0,856 ha	2,117 acre
Mou ou Mow	Chine	$\frac{1}{15}$ ha ou 674,5 m²	0,1666 acre
Mile	Royaume Uni	1,609 km	5,280 ft
Mile (nautique)	U.S.A.	1,853 km	6,0802 ft
Oke ou Okka	Egypte	1,248 kg	2,751 lb
Pfund	Allemagne	500,0 g	1,102 lb
Picul, Picol ou Tam	Chine	60,45 kg	133,333 lb
Pint	Royaume Uni	0,568 l	20 fluid oz
Pole	Royaume Uni	4,95 m	5,5 yd
Pood	Russie	14,62 kg	36,113 lb
Pound	Royaume Uni	0,4536 kg	16 oz
Quasaba	Egypte	3,55 m	11,65 ft
Quart	U.S.A. (liquid)	0,946 l	0,8327 imp. pint
Roba	Etats arabes	25,40 kg	56 lb
Rood	U.S.A. Royaume Uni	1 017,7 m²	1,210 sq. yd
Rotl, Roti			
Rotel ou Rottdo	Egypte	0,495 kg	0,9905 lb
Seer	Inde (Bombay)	0,327 kg	0,72 lb
Stone	Royaume Uni	6,35 kg	14,0 lb
Tan	Chine	60,55 kg	133,5 lb
—	Japon	991,5 m²	0,245 acre
Tonne espagnole	Espagne	1,15 t	2 531,75 lb
Tonelada ou Tonnelade	Argentine	918,0 kg	2 025,6 lb
	Guatémala	920,0 kg	2 028,0 lb
	Portugal	794,0 kg	1 748,0 lb
Vara	Pays d'expression espagnole	0,836 m	32,34 lb
Verste	U.R.S.S.	1,067 km	3 500 ft

1.5. Tableau de conversion des degrés Farhenheit en degrés centigrades et inversement

$$\theta^\circ C = \frac{5}{9} (\theta^\circ F - 32)$$

La valeur de la température à transformer doit être lue dans la colonne centrale. Pour connaître la valeur correspondante en degrés centigrades, lire les résultats dans la colonne de gauche. La colonne de droite donne les valeurs en degrés Fahrenheit.

Ex. + 29° C = + 84,20° F
+ 29° F = — 1,67° C

°C ← → °F		
—73,33	—100	—148,00
—67,78	— 90	—130,00
—62,22	— 80	—112,00
—56,67	— 70	— 94,00
—51,11	— 60	— 76,00
—45,56	— 50	— 58,00
—40,00	— 40	— 40,00
—39,44	— 39	— 38,20
—38,89	— 38	— 36,40
—38,83	— 37	— 34,60
—37,78	— 36	— 32,80
—37,22	— 35	— 31,00
—36,67	— 34	— 29,20
—36,11	— 33	— 27,40
—35,55	— 32	— 25,60
—35,00	— 31	— 23,80
—34,44	— 30	— 22,00
—33,89	— 29	— 20,20
—33,33	— 28	— 18,40
—32,78	— 27	— 16,60
—32,22	— 26	— 14,80
—31,67	— 25	— 13,00
—31,11	— 24	— 11,20
—30,56	— 23	— 9,40
—30,00	— 22	— 7,60
—29,44	— 21	— 5,80
—28,89	— 20	— 4,00
—28,33	— 19	— 2,20
—27,78	— 18	— 0,40
—27,22	— 17	+ 1,40
—26,67	— 16	+ 3,20
—26,11	— 15	+ 5,00
—25,55	— 14	+ 6,80
—25,00	— 13	+ 8,60
—24,44	— 12	+ 10,40
—23,89	— 11	+ 12,20
—23,33	— 10	+ 14,00
—22,78	— 9	+ 15,80
—22,22	— 8	+ 17,60
—21,67	— 7	+ 19,40
—21,11	— 6	+ 21,20
—20,56	— 5	+ 23,00
—20,00	— 4	+ 24,80

°C ← → °F		
—20,00	— 4	+24,80
—19,44	— 3	+26,60
—18,89	— 2	+28,40
—18,33	— 1	+30,20
—17,78	0	+32,00
—17,22	+ 1	+33,80
—16,67	+ 2	+35,60
—16,11	+ 3	+37,40
—15,55	+ 4	+39,20
—15,00	+ 5	+41,00
—14,44	+ 6	+42,80
—13,89	+ 7	+44,60
—13,33	+ 8	+46,40
—12,78	+ 9	+48,20
—12,22	+10	+50,00
—11,67	+11	+51,80
—11,11	+12	+53,60
—10,56	+13	+55,40
—10,00	+14	+57,20
— 9,44	+15	+59,00
— 8,89	+16	+60,80
— 8,33	+17	+62,60
— 7,78	+18	+64,40
— 7,22	+19	+66,20
— 6,67	+20	+68,00
— 6,11	+21	+69,80
— 5,55	+22	+71,60
— 5,00	+23	+73,40
— 4,44	+24	+75,20
— 3,89	+25	+77,00
— 3,33	+26	+78,80
— 2,78	+27	+80,60
— 2,22	+28	+82,40
— 1,67	+29	+84,20
— 1,11	+30	+86,00
— 0,56	+31	+87,80
0	+32	+89,60

°C ← → °F		
0	+32	+ 89,60
+ 0,56	+33	+ 91,40
+ 1,11	+34	+ 93,20
+ 1,67	+35	+ 95,00
+ 2,22	+36	+ 96,80
+ 2,78	+37	+ 98,60
+ 3,33	+38	+100,40
+ 3,89	+39	+102,20
+ 4,44	+40	+104,00
+ 5,00	+41	+105,80
+ 5,56	+42	+107,60
+ 6,11	+43	+109,40
+ 6,67	+44	+111,20
+ 7,22	+45	+113,00
+ 7,78	+46	+114,80
+ 8,33	+47	+116,60
+ 8,89	+48	+118,40
+ 9,44	+49	+120,20
+10,00	+50	+122,20
+10,56	+51	+123,80
+11,11	+52	+125,60
+11,67	+53	+127,40
+12,22	+54	+129,20
+12,78	+55	+131,00
+13,33	+56	+132,80
+13,89	+57	+134,60
+14,44	+58	+136,40
+15,00	+59	+138,20
+15,56	+60	+140,00
+16,11	+61	+141,80
+16,67	+62	+143,60
+17,22	+63	+145,40
+17,78	+64	+147,20
+18,33	+65	+149,00
+18,89	+66	+150,80
+19,44	+67	+152,60
+20,00	+68	+154,40

°C ← → °F		
+20,00	+ 68	+154,40
+20,56	+ 69	+156,20
+21,11	+ 70	+158,00
+21,67	+ 71	+159,80
+22,22	+ 72	+161,60
+22,78	+ 73	+163,40
+23,33	+ 74	+165,20
+23,89	+ 75	+167,00
+24,44	+ 76	+168,80
+25,00	+ 77	+170,60
+25,56	+ 78	+172,40
+26,11	+ 79	+174,20
+26,67	+ 80	+176,00
+27,22	+ 81	+177,80
+27,78	+ 82	+179,60
+28,33	+ 83	+181,40
+28,89	+ 84	+183,20
+29,44	+ 85	+185,00
+30,00	+ 86	+186,80
+30,56	+ 87	+188,60
+31,11	+ 88	+190,40
+31,67	+ 89	+192,20
+32,22	+ 90	+194,00
+32,78	+ 91	+195,80
+33,33	+ 92	+197,60
+33,89	+ 93	+199,40
+34,44	+ 94	+201,20
+35,00	+ 95	+203,00
+35,56	+ 96	+204,80
+36,11	+ 97	+206,60
+36,67	+ 98	+208,40
+37,22	+ 99	+210,20
+37,78	+100	+212,00
+38,33	+101	+213,80
+38,89	+102	+215,60
+39,44	+103	+217,40
+40,00	+104	+219,20

1.6. Tableau psychrométrique

L'humidité relative de l'air est le rapport de tension de vapeur (p) existant réellement dans l'atmosphère, à la tension (pm) que la vapeur y aurait à la même température (θ) si le milieu était saturé. Elle est mesurée à l'aide du psychromètre, appareil composé d'un thermomètre sec et d'un thermomètre mouillé (Assman). Il doit fonctionner à l'abri du rayonnement solaire et en atmosphère ventilée (vitesse de l'air supérieure à 1 m/s).

Dans le tableau de la page suivante.

θ = température du thermomètre sec (°C)

θ' = température du thermomètre mouillé (°C)

permettent d'obtenir le degré hygrométrique.

2. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE DIVERS CORPS

2.1. Solides

— **Constantes physiques de différents corps solides :**

M = masse atomique

δ = densité à 18° C (kg/m³)

λ = conductivité thermique à 18° C (W/m °C)

cp = chaleur spécifique entre 20 et 100° C (J/kg°C)

θF = point de fusion en degrés Celsius

(voir tableau page 1469)

TABLEAU PSYCHROMETRIQUE (Cf. page précédente)

$\theta - \theta'$ \ θ'	— 15°	— 10°	— 5°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
°C										
0,0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	98	98	99	99	99	99	99	99	99	99
4	97	97	97	97	97	97	97	98	98	98
6	95	95	96	96	96	96	96	96	97	97
8	94	94	94	94	95	95	95	95	95	96
1,0	92	92	93	93	93	94	94	94	94	94
2	91	91	91	92	92	92	93	93	93	93
4	89	90	90	90	91	91	91	92	92	92
6	88	88	89	89	90	90	90	91	91	91
8	86	87	87	88	88	89	89	90	90	90
2,0	85	86	86	87	87	88	88	88	89	89
2	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88
4	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87
6	82	82	82	83	84	84	85	85	86	86
8	80	80	81	82	83	83	84	84	85	85
3,0	78	79	80	81	81	82	83	83	84	84
2	77	78	79	80	80	81	82	82	83	83
4	76	77	78	79	79	80	81	81	82	82
6	75	76	77	77	78	79	80	80	81	82
8	74	75	75	76	77	78	79	79	80	81
4,0	72	73	74	75	76	77	78	78	79	80
2	71	72	73	74	75	76	77	77	78	79
4	70	71	72	73	74	75	76	77	77	78
6	69	70	71	72	73	74	75	76	76	77
8	68	69	70	71	72	73	74	75	75	76

5,0	67	68	69	70	71	72	73	74	75	75
2	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
4	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
6	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
8	63	64	65	66	68	69	69	70	71	72
6,0	62	63	64	66	67	68	69	70	70	71
2	61	62	63	65	66	67	68	69	70	71
4	60	61	63	64	65	66	67	68	69	70
6	59	60	62	63	64	65	66	67	68	69
8	58	60	61	62	63	64	65	66	67	68
7,0	57	59	60	61	62	63	65	66	67	68
2	56	58	59	60	62	63	64	65	66	67
4	55	57	58	60	61	62	63	64	65	66
6	55	56	57	59	60	61	62	63	64	65
8	54	55	57	58	59	60	62	63	64	65
8,0	53	54	56	57	58	60	61	62	63	64
2	52	54	55	56	57	59	60	61	62	63
4	51	53	54	56	57	58	59	60	62	63
6	51	52	54	55	56	57	58	60	61	62
8	50	51	53	54	55	57	58	59	60	61
9,0	49	51	52	53	55	56	57	58	60	61
2	48	50	51	53	54	55	57	58	59	60
4	48	49	51	52	53	55	56	57	58	59
6	47	48	50	51	53	54	55	56	58	59
8	46	48	49	51	52	53	55	56	57	58
$\theta - \theta'$ / θ'	— 15°	— 10°	— 5°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°

θ-θ′ \ θ′	— 15°	— 10°	— 5°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
10,0	46	47	49	50	51	53	54	55	56	57
5	44	45	47	48	50	51	52	54	55	
11,0	42	44	45	47	48	49	51	52	53	
5	41	42	44	45	47	48	49	51	52	
12,0	39	41	42	44	45	47	48	49	50	
5	38	39	41	42	44	45	46	48	49	
13,0	36	38	40	41	43	44	45	46	48	
5	35	37	38	40	42	43	44	45	46	
14,0	34	35	37	38	40	41	43	44	45	
5	33	34	36	37	39	40	41	43	44	
15,0	31	33	35	36	37	39	40	42		
5	30	32	33	35	36	38	39	40		
16,0	29	31	32	34	35	37	38	39		
5	28	30	31	33	34	36	37	38		
17,0	27	29	30	32	33	35	36	37		
5	26	28	29	31	32	34	35	56		
18,0	25	27	28	30	31	33	34	35		
5	25	26	27	29	30	32	33	34		
19,0	24	25	27	28	29	31	32	33		
5	23	24	26	27	29	30	31	33		
20,0	22	24	25	26	28	29	30	32		
21,0	21	22	23	25	26	27	29			
22,0	19	21	22	23	25	26	27			
23,0	18	19	21	22	23	24	26			
24,0	17	18	19	21	22	23	24			
25,0	16	17	18	19	21	22	23			
26,0	15	16	17	18	20	21				
27,0	14	15	16	17	18	20				
28,0	13	14	15	16	17	19				
29,0	12	13	14	15	16	18				
30,0	11	12	13	14	16	17				

2.2. Substances diverses

Densités apparentes

Substance	kg/m³
Matériaux divers :	
Caoutchouc brut	920 - 960
Charbon de bois poreux	400
Charbon de bois non poreux	1 400 - 1 500
Cire	950 - 980
Cuir sec	860
Engrais (voir chapitre fertilisation)	
Ivoire	1 830 - 1 920
Liège	240
Mercure	13 596
Pétrole	780 - 850
Os	1 700 - 2 000
Papier	700 - 1 150
Sucre	1 600
Suif	900 - 970
Sel de cuisine	2 200
Produits agricoles liquides :	
Huile d'arachide	915 - 918
Huile d'olive	916 - 920
Huile de palme	920
Lait gras	1 028
Lait écrémé	1 032
Latex hévéa	940
Beurre	940
Produits agricoles solides :	
Arachides coques « huilerie »	370 - 400
Arachides coques « bouche »	270 - 300
Arachides graines	600 - 620
Blé (grains)	760 - 800
Cacao (fèves fraîches)	900
Cacao (fèves fermentées)	775
Cacao (fèves sèches)	635
Café (cerises fraîches)	620
Café (cerises sèches)	450
Café (café marchand)	715
Coton :	
— coton graine non tassé	100 - 120
— coton fibre :	
● pressé standard	380
● haute densité	500

Substance	kg/m³
Coton (suite)	
— graines non délintées	420
Haricots grains	800
Luzerne graine	750 - 800
Maïs en grains	750 - 800
Mil	700
Orge (grains)	600 - 650
Paille (comprimée)	60 - 250
Palmier à huile :	
noix de palme	790 - 800
palmiste (5 % humidité)	550
régimes frais	500 - 650
fruits stérilisés	600 - 700
Poivre sec :	
— noir	450 - 480
— blanc	620 - 680
Pomme de terre	620 - 780
Riz :	
— gerbes	80 - 120
— paddy	500 - 630
— cargo	700 - 750
— riz blanchi	800 - 850
Soja (graines)	750 - 800
Sorgho (graines)	670 - 700
Tabac (graines)	450

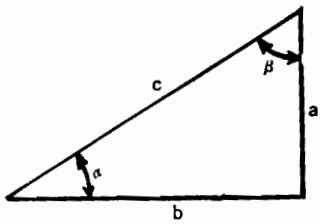
3. TABLES MATHÉMATIQUES

Transformation des fractions ordinaires en fractions décimales (racines carrées et cubiques)

Fractions ordinaires	Fractions décimales	Racines carrées	Racines cubiques	Fractions ordinaires	Fractions décimales	Racines carrées	Racines cubiques
1/2	0,500	0,701	0,795	1/8	0,125	0,354	0,500
2/3	0,666	0,816	0,874	3/8	0,375	0,612	0,721
1/4	0,250	0,500	0,630	5/8	0,625	0,791	0,855
3/4	0,750	0,866	0,909	7/8	0,875	0,935	0,956
1/6	0,166	0,408	0,550	1/9	0,111	0,333	0,481
5/6	0,833	0,913	0,941	2/9	0,222	0,471	0,606
1/7	0,143	0,378	0,523	4/9	0,444	0,667	0,763
2/7	0,286	0,535	0,659	5/9	0,555	0,745	0,822
3/7	0,428	0,655	0,754	7/9	0,777	0,882	0,920
4/7	0,571	0,756	0,830	1/12	0,083	0,289	0,437
5/7	0,714	0,845	0,894	5/12	0,416	0,645	0,747
6/7	0,857	0,926	0,950	7/12	0,583	0,764	0,836

RAPPELS DE TRIGONOMETRIE

1) Définitions des rapports trigonométriques



$\alpha + \beta = 90°$ angles complémentaires

Sinus de l'angle α $\sin \alpha = \frac{a}{c} (= \cos \beta)$

Cosinus de l'angle α $\cos \alpha = \frac{b}{c} = (\sin \beta)$

Tangente de l'angle α $\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b} = (\operatorname{cotg} \beta)$

Cotangente de l'angle α $\operatorname{cotg} \alpha = \frac{b}{a} = (\operatorname{tg} \beta)$

Sécante de l'angle α $\sec \alpha = \frac{c}{b}$

Cosécante de l'angle α $\operatorname{cosec} \alpha = \frac{c}{a}$

Relations :

$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$

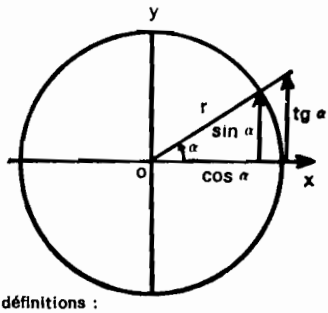
$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$ $\operatorname{cotg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$

$\operatorname{cotg} \alpha = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$

$1 + \operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$ $1 + \operatorname{cotg}^2 \alpha = \frac{1}{\sin^2 \alpha}$

$\sin^2 \alpha = \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}$ $\cos^2 \alpha = \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}$

Fonctions d'un angle quelconque :
x et y étant les coordonnées rectangulaires
r et α étant les coordonnées polaires



définitions :

$\sin \alpha = \frac{y}{r}$ $\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{x}$

cercle trigonométrique $x \quad r = 1$

$\cos \alpha = \frac{x}{r}$ $\operatorname{cotg} \alpha = \frac{x}{y}$

2) Périodicité $\sin (\alpha + 2k\pi) = \sin \alpha$
$\operatorname{tg} (\alpha + k\pi) = \operatorname{tg} \alpha$ (k nombre entier quelconque)
[π radians = 180°], $\cos (\alpha + 2k\pi) = \cos \alpha$
$\operatorname{cotg} (\alpha + k\pi) = \operatorname{cotg} \alpha$

3) Angles opposés

$\sin (-\alpha) = -\sin \alpha$
$\cos (-\alpha) = \cos \alpha$
$\operatorname{tg} (-\alpha) = -\operatorname{tg} \alpha$
$\operatorname{cotg} (-\alpha) = -\operatorname{cotg} \alpha$

4) Angles supplémentaires : α et $(180° - \alpha)$

$\sin (\pi - \alpha) = \sin \alpha$
$\cos (\pi - \alpha) = -\cos \alpha$
$\operatorname{tg} (\pi - \alpha) = -\operatorname{tg} \alpha$
$\operatorname{cotg} (\pi - \alpha) = -\operatorname{cotg} \alpha$

Addition des arcs :

$\sin (\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \sin \beta \cos \alpha$
$\cos (\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$

$\operatorname{tg} (\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta}{1 \mp \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}$

$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$
$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 2 \cos^2 \alpha - 1$

$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}$

$\sin \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1}{2} (1 - \cos \alpha)}$

$\cos \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1}{2} (1 + \cos \alpha)}$

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}=\frac{1-\cos\alpha}{\sin\alpha}=\frac{\sin\alpha}{1+\cos\alpha}=\pm\sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{1+\cos\alpha}}$$

$$\sin\alpha=\frac{2\operatorname{tg}\frac{x}{2}}{1+\operatorname{tg}^2\frac{\alpha}{2}} \qquad \cos\alpha=\frac{1-\operatorname{tg}^2\frac{\alpha}{2}}{1+\operatorname{tg}^2\frac{\alpha}{2}}$$

$$\operatorname{tg}\alpha=\frac{2\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}}{1-\operatorname{tg}^2\frac{\alpha}{2}}$$

$$\sin\alpha\pm\sin\beta=2\sin\frac{\alpha\pm\beta}{2}\cos\frac{\alpha\mp\beta}{2}$$

$$\cos\alpha+\cos\beta=2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$\cos\alpha-\cos\beta=-2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\sin\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$\operatorname{tg}\alpha\pm\operatorname{tg}\beta=\frac{\sin(\alpha\pm\beta)}{\cos\alpha\cos\beta}$$

Résolution des triangles quelconques

Théorème des sinus

$$\frac{\sin\alpha}{a}=\frac{\sin\beta}{b}=\frac{\sin\gamma}{c}=\frac{1}{2r}$$

r rayons du cercle circonscrit

Théorème des cosinus

$$a^2=b^2+c^2-2bc\cos\alpha$$

Théorème des tangentes

$$\frac{a-b}{a+b}=\frac{\operatorname{tg}\frac{\alpha-\beta}{2}}{\operatorname{tg}\frac{\alpha+\beta}{2}}$$

LIGNES DES ARCS REMARQUABLES

angle	sinus	cosinus	tangente
0°	0	1	0
30°	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}=\frac{\sqrt{3}}{3}$
45°	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	1
60°	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\sqrt{3}$
90°	1	0	∞

TRANSFORMATION DES MINUTES ET SECONDES EN DEGRES

Minutes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,000	0,017	0,033	0,050	0,067	0,083	0,100	0,117	0,133	0,150
10	0,167	0,183	0,200	0,217	0,233	0,250	0,267	0,283	0,300	0,317
20	0,333	0,350	0,367	0,383	0,400	0,417	0,433	0,450	0,467	0,483
30	0,500	0,517	0,533	0,550	0,567	0,583	0,600	0,617	0,633	0,650
40	0,667	0,683	0,700	0,717	0,733	0,750	0,767	0,783	0,800	0,817
50	0,833	0,850	0,867	0,883	0,900	0,917	0,933	0,950	0,967	0,983
Secondes	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
0	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003
10	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005
20	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008
30	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011
40	0,011	0,011	0,012	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014
50	0,014	0,014	0,014	0,015	0,015	0,015	0,016	0,016	0,016	0,016

Exemple :

Pour transformer 51′ 32″ prendre successivement :

minutes : ligne horizontale 50, ligne verticale 1 = 0,850 degrés
secondes : ligne horizontale 30, ligne verticale 2 = 0,009 degrés
51′ 32″ = 0,859 degrés

TRANSFORMATION DES DEGRES EN MINUTES ET SECONDES

Degrés	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	′	″	′	″	′	″	′	″	′	″	′	″	′	″	′	″	′	″	′	″
0,0	0	0	0	36	1	12	1	48	2	24	3	0	3	36	4	12	4	48	5	24
0,1	6	0	6	36	7	12	7	48	8	24	9	0	9	36	10	12	10	48	11	24
0,2	12	0	12	36	13	12	13	48	14	24	15	0	15	36	16	12	16	48	17	24
0,3	18	0	18	36	19	12	19	48	20	24	21	0	21	36	22	12	22	48	23	24
0,4	24	0	24	36	25	12	25	48	26	24	27	0	27	36	28	12	28	48	29	24
0,5	30	0	30	36	31	12	31	48	32	24	33	0	33	36	34	12	34	48	35	24
0,6	36	0	36	36	37	12	37	48	38	24	39	0	39	36	40	12	40	48	41	24
0,7	42	0	42	36	43	12	43	48	44	24	45	0	45	36	46	12	46	48	47	24
0,8	48	0	48	36	49	12	49	48	50	24	51	0	51	36	52	12	52	48	53	24
0,9	54	0	54	36	55	12	55	48	56	24	57	0	57	36	58	12	58	48	59	24

Exemple :

Pour transformer 0,98 **degrés en ′ et ″ prendre la ligne 0,9 et la colonne 8**
et lire les chiffres : 0,98° = 58′ 48″.

TABLE DE CONVERSION DES PENTES MÉTRIQUES EN DEGRÉ ET RÉCIPROQUEMENT

Pentes métriques en degrés d'inclinaison

Pentes métriques	Degrés d'inclinaison	Pentes métriques	Degrés d'inclinaison
0,005	0,286	0,080	4,574
0,010	0,725	0,085	4,858
0,015	0,859	0,090	5,143
0,020	1,146	0,095	5,427
0,025	1,432	0,100	5,710
0,030	1,718	0,105	5,994
0,035	2,004	0,110	6,277
0,040	2,291	0,115	6,560
0,045	2,576	0,120	6,843
0,050	2,862	0,125	7,125
0,055	3,148	0,130	7,407
0,060	3,434	0,135	7,688
0,065	3,719	0,140	7,969
0,070	4,004	0,145	8,250
0,075	4,289	0,150	8,530

Degrés d'inclinaison en pentes métriques (1)

Degrés d'inclinaison	Pentes métriques	Degrés d'inclinaison	Pentes métriques
0,25	0,00436	10	0,17633
0,5	0,00873	12	0,21236
0,73	0,01309	14	0,24933
1	0,01746	16	0,28675
1,5	0,02613	18	0,32492
2	0,03492	20	0,36397
2,5	0,04366	22	0,40403
3	0,05241	24	0,44523
3,5	0,06116	26	0,48773
4	0,06992	28	0,53171
4,5	0,07870	30	0,57735
5	0,08749	32	0,62487
6	0,10510	34	0,67451
7	0,12278	36	0,72634
8	0,14054	38	0,78120
9	0,15838	40	0,83910

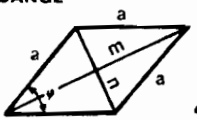
(1) D'une manière générale la pente métrique est égale à la tangente de l'angle correspondant.

4. QUELQUES CALCULS SIMPLES

4.1. Calculs de figures géométriques simples

p = demi-périmètre

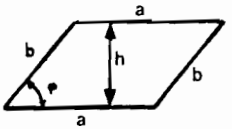
LOSANGE



$S = a^2 \sin \varphi$

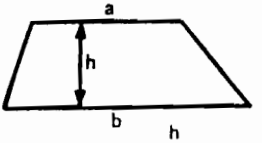
$S = \dfrac{m \times n}{2}$

PARALLELOGRAMME



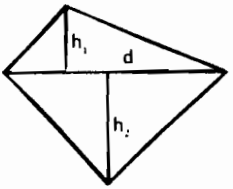
$S = ah = ab \cdot \sin \varphi$

TRAPEZE

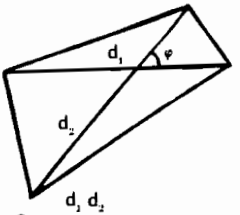


$S = \dfrac{h}{2}(a + b)$

QUADRILATERE QUELCONQUE

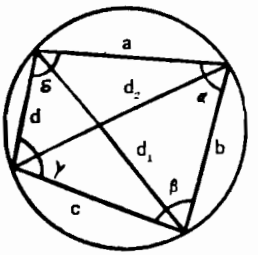


$S = \dfrac{d}{2}(h_1 + h_2)$



$S = \dfrac{d_1 d_2}{2} \cdot \sin \varphi$

QUADRILATERE INSCRIT

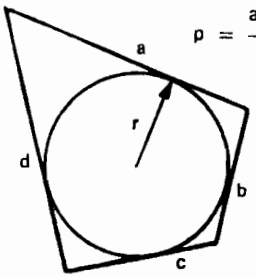


$\alpha + \gamma = 180°$

$\beta + \delta = 180°$ $\quad d_1 d_2 = ac + bd$

$S = \sqrt{(p-a)(p-b)(p-c)(p-d)}$

QUADRILATERE EXINSCRIT



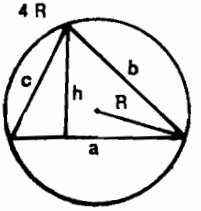
$p = \dfrac{a + b + c + d}{2}$

$a + c = b + d$

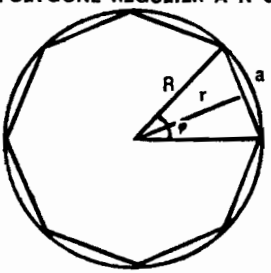
$S = p \times r$

TRIANGLE INSCRIT

$S = \dfrac{ah}{2} = \dfrac{abc}{4R}$



POLYGONE REGULIER A N COTES



$\varphi = \dfrac{360°}{n}$

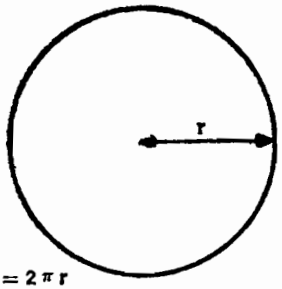
$a = 2\sqrt{R^2 - r^2} = 2R \cdot \sin \dfrac{180°}{n} = 2r \cdot \operatorname{tg} \dfrac{180°}{n}$

$p = \dfrac{na}{2}$

$S = p.r = \dfrac{1}{4} na^2 . \operatorname{cotg} \dfrac{180°}{n} = \dfrac{1}{2} nR^2 \sin \dfrac{360°}{n} = nr^2 \operatorname{tg} \dfrac{180°}{n}$

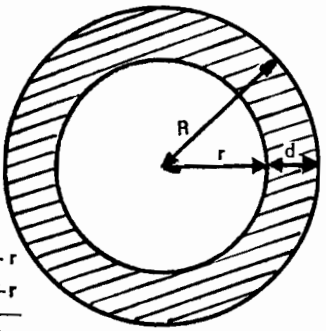
COURONNE CIRCULAIRE

CERCLE



$P = 2\pi r$

$S = \pi r^2$

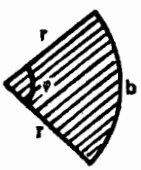


$d = R - r$

$\rho = \dfrac{R+r}{2}$

$S = \pi(R^2 - r^2) = 2\pi\rho d$

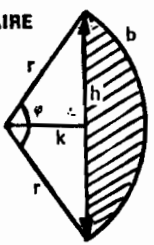
SECTEUR CIRCULAIRE



$S = \dfrac{1}{2} br = \dfrac{\varphi}{360} \pi r^2$

$b = \dfrac{\varphi}{180} \pi r$

SEGMENT CIRCULAIRE



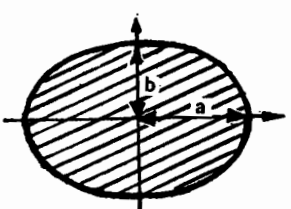
$h = 2\, r \sin \dfrac{\varphi}{2}$

$k = r \cos \dfrac{\varphi}{2}$

$b = \dfrac{\varphi}{180} \pi r$

$S = \dfrac{r^2}{2} \left(\dfrac{\varphi}{180} \pi - \sin \varphi \right) = \dfrac{br}{2} - hk$

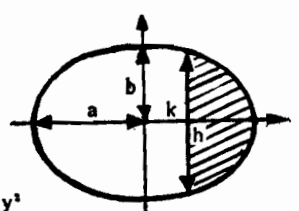
ELLIPSE



$\dfrac{x^2}{a^2} + \dfrac{y^2}{b^2} = 1$

$S = \pi ab$

SEGMENT D'ELLIPSE



$\dfrac{x^2}{a^2} + \dfrac{y^2}{b^2} = 1$

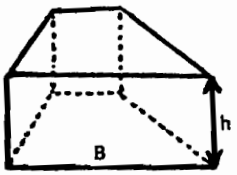
$S = ab \cdot \arccos \dfrac{a-h}{a} - \dfrac{1}{2} k(a-h)$

φ doit être exprimé en degrés

VOLUME DES CORPS

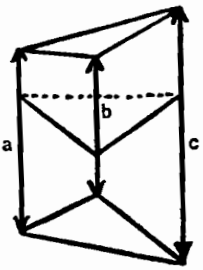
V = volume — L = surface latérale

PRISME DROIT



$V = Bh$
$L = ph$
(plans parallèles)

TRONC DE PRISME A BASE TRIANGULAIRE

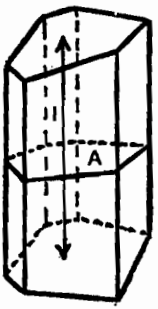


Section droite

$$V = \frac{A}{3}(a + b + c)$$

A désigne la surface de la section droite

TRONC DE PRISME A BASE QUELCONQUE (cylindre)



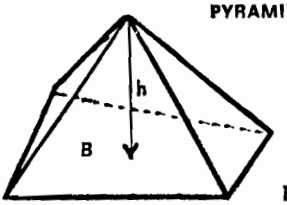
l = distance des centres de gravité des deux bases

A = surface de la section perpendiculaire à l

$V = Al$

$L = pl$

PYRAMIDE



h = hauteur

B = surface de base

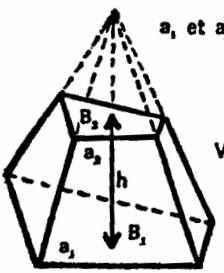
$$V = \frac{Bh}{3}$$

$$L = \frac{Pl}{2}$$

TRONC DE PYRAMIDE A BASES PARALLELES

h = distance entre les bases

B_1 et B_2 = surfaces de ces bases



a_1 et a_2 = côtés correspondant aux bases B_1 et B_2

$$V = \frac{h}{3}(B_1 + B_2 \pm \sqrt{B_2 B_1}) =$$

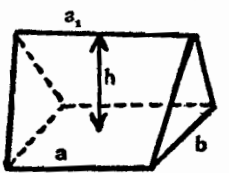
$$\frac{hB_1}{3}\left[1 \pm \frac{a_2}{a_1} + \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2\right]$$

signe + pour les bases d'un même côté du sommet

signe — pour les bases de part et d'autre du sommet.

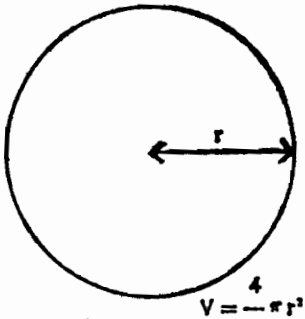
$$L = \left(\frac{P^1 + P^2}{2}\right) l$$ (cas de tronc droit et régulier)

COIN



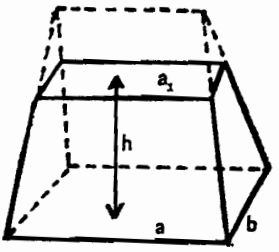
$$V = \frac{1}{6}(2a + a_1)bh$$

SPHERE



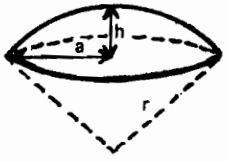
$$L = 4\pi r^2 \qquad V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

TAS DE SABLE



$$V = \frac{1}{6} h \left[ab + (a + a_1)(b + b_1) + a_1 b_1\right]$$

CALOTTE SPHERIQUE

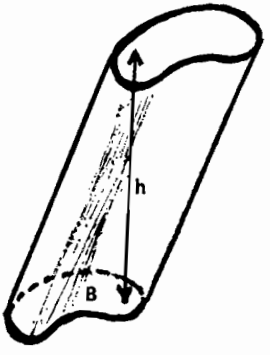


$$a_2 = h(2r - h) \qquad h = r - \sqrt{r^2 - a^2}$$

$$V = \frac{1}{6}\pi h (3a^2 + h_2) = \frac{1}{3}\pi h^2 (3r - h)$$

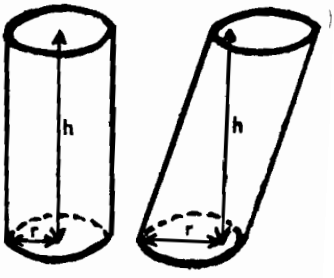
$$L = 2\pi rh = \pi (a^2 + h^2) = 2\pi r (r - \sqrt{r^2 - a^2})$$

CYLINDRE (droit ou oblique)



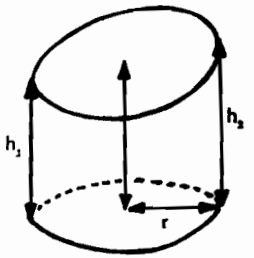
h = hauteur
B = surface de base
V = Bh

CYLINDRE CIRCULAIRE
(droit ou oblique)



$$V = \pi r^2 h$$
$$L = 2\pi rh$$

CYLINDRE CIRCULAIRE DROIT
(tronqué obliquement)

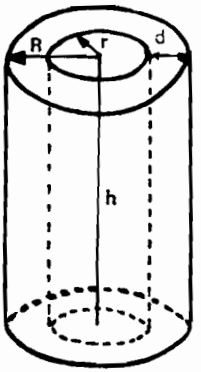


h_1 = génératrice la plus courte h_2 = génératrice la plus longue

$$V = \frac{1}{2} \pi r^2 (h_1 + h_2)$$

$$L = \pi r (h_1 + h_2)$$

CYLINDRE CREUX (tube)

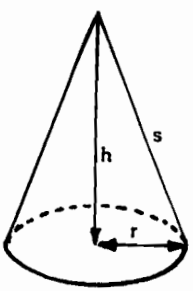


$$\rho = \frac{R + r}{2}$$

$$R - r = d$$

$$V = \pi h (R^2 - r^2) = \pi h (R + r)(R - r) = \pi h 2 \rho d = 2 \pi h \rho d$$

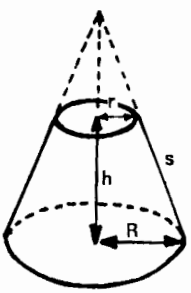
CONE CIRCULAIRE DROIT



$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

$$L = \pi rs = \pi r \sqrt{r^2 + h^2}$$

TRONC DE CONE CIRCULAIRE DROIT



$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2)$$

$$L = \pi (R + r) s$$

4.2. Densités de semis ou de plantations

4.2.1. PLANTATIONS EN CARRE OU EN RECTANGLE

4.2.1.1. Plantations serrées

Nombre de plants à l'hectare (espacements en cm) (1)

Ecartement des lignes	25	50	75	100	125	150	175
Espacement sur la ligne							
2	2 000 000	1 000 000	666 666	500 000	400 000	333 333	285 714
5	800 000	400 000	266 666	200 000	160 000	133 333	114 280
10	400 000	200 000	133 333	100 000	80 000	66 666	57 140
15	266 666	133 333	88 888	66 666	53 333	44 444	38 095
20	200 000	100 000	66 666	50 000	40 000	33 333	28 571
25	160 000	80 000	53 333	40 000	32 000	26 666	22 856
30	133 333	66 666	44 444	33 333	26 666	22 222	19 047
35	114 285	57 142	38 095	28 571	22 857	19 047	16 326
40	100 000	50 000	33 333	25 000	20 000	16 666	14 285
45	88 888	44 444	29 629	22 222	17 777	14 814	12 698

50	80 000	40 000	26 666	20 000	16 000	13 333	11 428
60	66 666	33 333	22 222	16 666	13 333	11 111	9 523
75	53 333	26 666	17 777	13 333	10 666	8 888	7 618
80	50 000	25 000	16 666	12 500	10 000	8 333	7 142
90	44 444	22 222	14 814	11 111	8 888	7 407	6 349
100	40 000	20 000	13 333	10 000	8 000	6 666	5 714
125					6 400	5 200	4 571
150						4 444	3 809
175							3 265

(1) Pour la densité par acre, diviser 43 560 (nombre de square feet par acre) par le produit des espacements exprimés en feet, ou, plus simplement, multiplier le chiffre du tableau par 0,405.

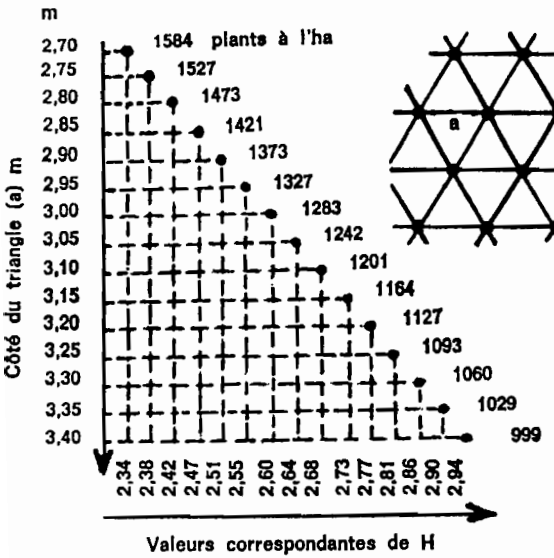
4.2.1.2. Plantations espacées

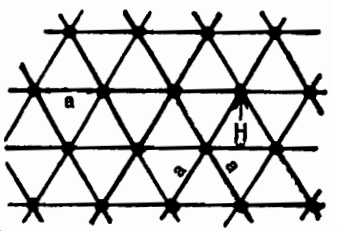
Nombre d'arbres par hectare (espacements en m) :

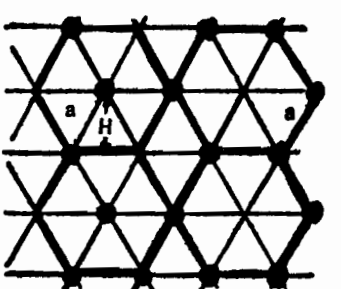
Espacement sur la ligne	Ecartement des lignes								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,25	20 000	13 333	10 000	8 000	6 666	5 714	5 000	4 444	4 000
0,50	10 000	6 666	5 000	4 000	3 333	2 857	2 500	2 222	2 000
0,75	6 666	4 444	3 333	2 666	2 222	1 904	1 666	1 481	1 333
1	5 000	3 333	2 500	2 000	1 666	1 428	1 250	1 111	1 000
1,25	4 000	2 666	2 000	1 600	1 338	1 142	1 000	888	800
1,50	3 333	2 222	1 666	1 442	1 111	952	833	740	666
1,75	2 857	1 904	1 428	1 333	952	816	714	634	571
2	2 500	1 666	1 250	1 000	833	714	555	555	500
2,5	2 000	1 333	1 000	800	666	571	500	444	400
3	1 666	1 111	833	666	555	476	416	370	333
3,5			714	571	476	408	357	317	285
4			625	500	416	357	312	277	250
4,5				444	370	317	277	246	222
5				400	333	285	250	222	200
6					277	238	208	185	166
7						204	178	158	142
8							156	138	125
9								123	111
10								111	100

4.2.2. PLANTATION EN TRIANGLE EQUILATERAL

$$H = \frac{a\sqrt{3}}{2}$$

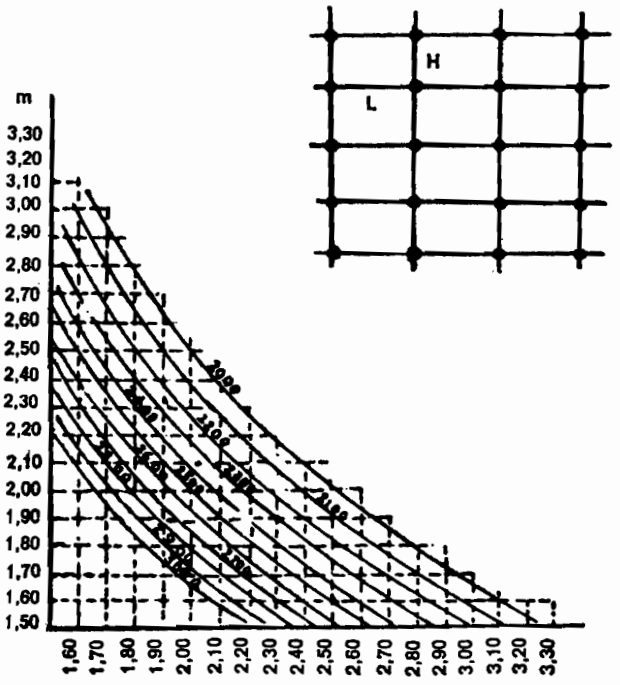






Plantation en hexagone : les densités sont égales aux 2/3 des précédentes.

4.2.3. PLANTATION EN RECTANGLE A FAIBLE DENSITE



(Exemple : 2 × 2,10 m. Suivre la ligne horizontale 2 m jusqu'à rencontre avec la ligne verticale 2,10 m. Densité un peu inférieure à 2400/ha. Le calcul exact donne 2381/ha)

ANNEXES

GÉNÉRALITÉS GÉOGRAPHIQUES SUCCINCTES

BIBLIOGRAPHIE - REVUES - BASES

SIGLES

ADRESSES

INDEX GÉNÉRAL

ANNEXE I

GÉNÉRALITÉS GÉOGRAPHIQUES SUCCINCTES

N.B. Ces quelques données sont fournies à titre d'indications de base : Pour l'évolution des chiffres de population, d'indices économiques, etc., ce mémento d'agronomie n'ayant pas vocation à se substituer aux mises à jour des annuaires spécialisés, FAO et Banque mondiale, il convient de se référer à ceux-ci, dont les références sont fournies ci-dessous.

LÉGENDE DES TABLEAUX ET SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Colonne 1 **Numéro :** les numéros sont attribués par continent dans l'ordre de population décroissante et indiqués sur la carte jointe. (Source FAO)

Colonne 2 **Pays :** les pays sont classés par continent et par ordre alphabétique (suivant répartition de l'Atlas de la Banque mondiale.

Colonne 3 **Superficie** en milliers de km^2.
(Source FAO)

Colonne 4 **Population** en milliers d'habitants (en 1985).

Colonne 5 **Taux de croissance de la population :** moyenne annuelle de 1973 à 1985.

Consulter les dernières éditions des Atlas Banque mondiale.
Annuaire FAO de la population.

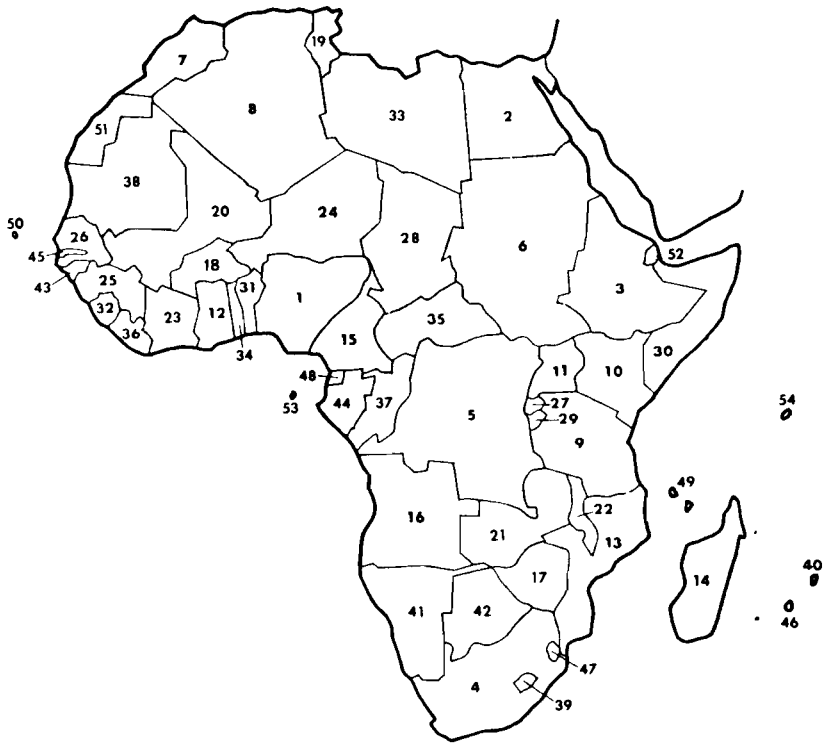
Colonne 6 et 7 **Capitale et population de la ville.**
Encyclopédie géographique, Stock (Ed. mise à jour en 1985).

Colonne 8 **Produit National Brut (PNB) par habitant** en US dollars en

1975 (* = estimation).
Atlas Banque mondiale 1985.

Colonne 9 **Taux de croissance du PNB** par habitant, **moyenne annuelle** (de 1973 à 1985).
Atlas Banque mondiale 1985.

Afrique


7
19
8
33
2
51
38
20
24
28
6
50
26
52
45
18
3
43
25
31
1
32
12
35
23
36
34
15
30
48
11
10
53
44
37
27
54
5
29
9
49
16
22
21
13
40
17
14
41
42
46
47
4
39

AFRIQUE

N°	Territoires	Superficie 1000 km2	Population 1983 p. (1000 hab.)
4	Afrique du Sud	1 221	32 432
9	Algérie	2 381	21 865
17	Angola	1 246	8 756
31	Bénin	113	4 043
41	Botswana	600	1 070
19	Burkina-Faso	274	7 885
30	Burundi	28	4 696
15	Cameroun	475	10 191
51	Cap-Vert (îles du)	4	327
35	Rép. Centrafricaine	623	2 583
48	Comores	2,2	395
37	Congo	342	1 872
16	Côte d'Ivoire	322	10 072
50	Djibouti	23	362
2	Egypte	1 001	47 108
3	Ethiopie	1 222	42 271
43	Gabon	268	997
46	Gambie	11	737
13	Ghana	239	12 710
26	Guinée	246	6 049
49	Guinée équatoria.	28	373
44	Guinée Bissau	36	886
10	Kenya	583	20 375
39	Lesotho	30	1 515
36	Liberie	111	2 196
33	Lybie	1 760	3 600
14	Madagascar	587	10 212
22	Malawi	118	7 044
20	Mali	1 240	7 511
8	Maroc	445	21 924
42	Maurice	1,9	1 036
38	Mauritanie	1 031	1 693
12	Mozambique	783	13 791
40	Namibie	824	1 127
25	Niger	1 267	6 391
1	Nigeria	924	99 669
11	Ouganda	236	15 474
47	Réunion	2,5	530
27	Rwanda	26	6 026
52	Sao Tome et Prin	0,96	108
24	Sénégal	196	6 558
53	Seychelles	0,40	65
32	Sierra Léone	72	3 745
28	Somalie	688	5 384
7	Soudan	2 506	21 931
45	Swaziland	17	758
6	Tanzanie	940	22 242
29	Tchad	1 284	4 982
34	Togo	56	3 038
21	Tunisie	164	7 143
5	Zaïre	2 345	30 557
23	Zambie	753	6 640
18	Zimbabwé	389	8 406

Taux de croissance 73-85	Capitale	Population Capitale	PNB/hab. US $ 1985	Taux de croissance % PNB 73-85
2,4	Pretoria		2 010	2,4
3,1	Alger	1 721 607	2 530	5,8
3,1	Luanda	1 200 000	n.d.	n.d.
2,9	Porto-Novo	104 000	270	4,5
4,3	Gabarone	59 657	840	11,0
2,3	Ouagadougou	247 877	140	2,7
2,3	Bujumbura	172 201	240	3,5
3,2	Yaoundé	313 706	810	7,1
1,6	Praia	39 598	430	6,7
2,3	Bangui	350 000	270	0,6
2,7	Moroni	16 000	280	4,0
3,1	Brazzaville	289 700	1 020	7,7
4,3	Abidjan	951 216	620	3,2
5,7	Djibouti	200 000	n.d.	n.d.
2,6	Le Caire	5 074 016	680	8,1
2,7	Addis-Abeba	1 277 159	110	2,2
1,5	Libreville	251 400	3 340	0,9
3,4	Banjul	39 476	230	0,6
2,7	Accra	636 067	390	- 0,6
2,0	Conakry	525 671	320	2,0
1,7	Malabo	37 000	n.d.	n.d.
3,7	Bissau	109 214	170	1,9
4,0	Nairobi	509 286	290	4,3
2,4	Maseru	45 000	480	7,1
3,3	Monrovia	208 629	470	1,4
4,0	Tripoli	481 295	7 500	1,3
2,9	Tananarive	406 366	250	- 0,7
3,1	Lilongwe	98 718	170	2,6
2,5	Bamako	404 000		
2,4	Rabat	435 510	610	4,1
1,4	Port-Louis	147 599	1 070	3,3
2,1	Nouakchott	134 986	410	2,3
2,6	Maputo	785 512	n.d.	n.d.
2,6	Windhoek	104 100	n.d.	3,7
3,0	Niamey	225 314	200	3,5
2,8	Lagos	1 060 848	760	0,3
3,2	Kampala	330 700	n.d.	n.d.
1,1	Saint Denis	109 072	n.d.	1,7
3,3	Kigali	117 749	290	5,4
2,2	Sao Tomé		310	3,2
2,8	Dakar	850 000	370	2,0
1,1	Victoria	23 334	n.d.	n.d.
2,1	Freetown	274 000	370	1,9
2,8	Modagiscio	350 000	270	2,5
2,9	Khartoum	476 218	330	4,0
3,5	Mbabane	38 636	650	4,2
3,4	Dar es Salaam	870 020	270	1,7
2,1	N'Djamena	303 000	n.d.	n.d.
2,8	Lomé	229 400	250	1,7
2,4	Tunis	596 654	1 220	5,6
3,0	Kinshasa	2 443 876	170	- 0,9
3,2	Lusaka	538 469	400	0,5
3,2	Harare	656 000	650	3,2

Amérique du Nord et Amérique centrale



Amérique du Sud



AMÉRIQUE DU NORD ET CENTRALE

N°	Territoires	Superficie 1000 km²	Population 1983 p. (1000 hab.)
27	Antigua et Barbuda	0,44	79
19	Antilles néerl.	0,96	264
21	Bahamas	11	234
20	Barbade	0,43	252
22	Bélize	23	159
28	Bermudes	0,054	79
3	Canada	9 976	25 414
12	Costa Rica	51	2 593
4	Cuba	115	10 097
29	Dominique	0,79	78
1	États-Unis	9 363	238 780
26	Grenade	0,34	96
16	Guadeloupe	1,8	334
5	Guatemala	109	7 966
8	Haïti	28	5 451
9	Honduras	112	4 366
25	Iles Vierges	0,34	111
13	Jamaïque	11	2 227
17	Martinique	1,1	328
2	Mexique	1 973	78 820
31	Montserrat	0,102	12
11	Nicaragua	130	3 263
14	Panama	76	2 180
10	Porto-Rico	8,9	3 288
6	Rép. dominicaine	49	6 261
30	St Christophe et Nièves	0,36	43
24	St Vincent et les Grenadines	0,34	119
23	Ste Lucie	0,62	136
7	Salvador	21	5 564
15	Trinidad et Tobago	5	1 187

AMÉRIQUE DU SUD

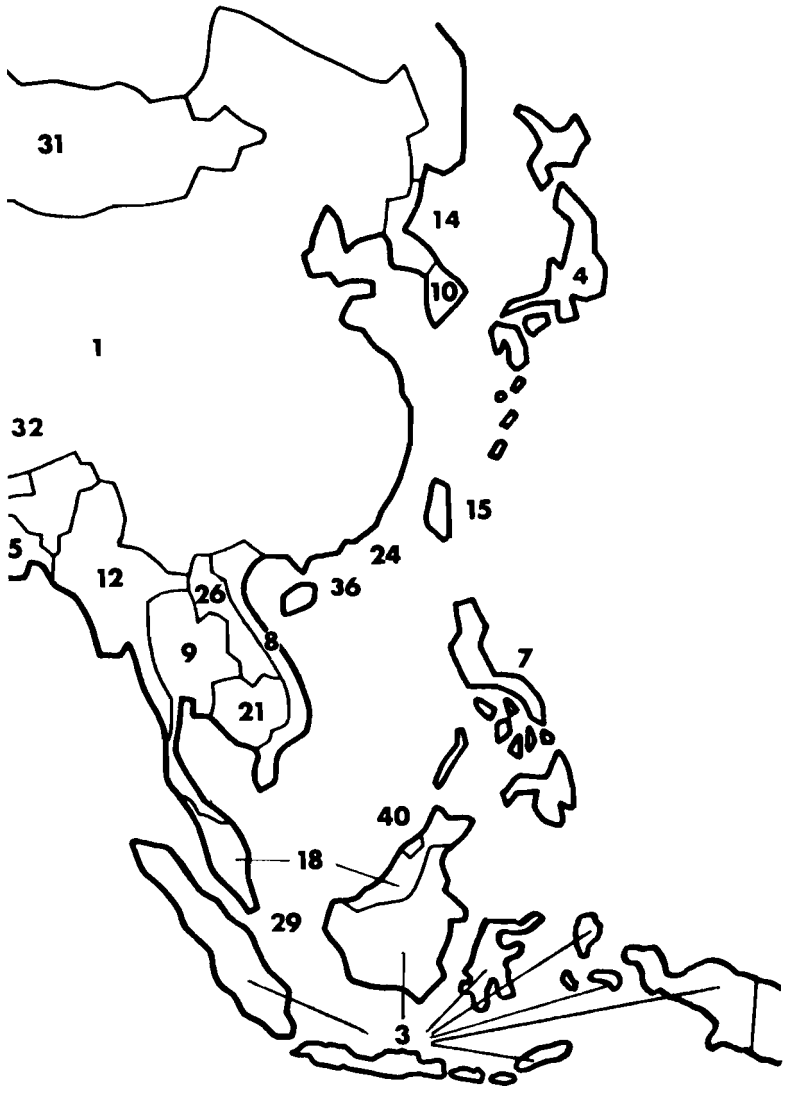
2	Argentine	2 777	30 531
8	Bolivie	1 099	6 383
1	Brésil	8 512	135 539
6	Chili	757	11 990
3	Colombie	1 139	28 418
7	Équateur	284	9 367
11	Guyane	215	806
13	Guyane française	91	82
9	Paraguay	407	3 388
4	Pérou	1 285	18 653
12	Surinam	163	393
10	Uruguay	187	3 004
5	Venezuela	912	17 323

Taux de croissance 73-85	Capitale	Population Capitale	PNB/hab. US $ 1985	Taux de croissance % PNB 73-85
1,2	St John's	36 000	2 030	4,0
1,0	Willemstad	160 000	6 110	7,3
2,1	Nassau	135 437	7 150	4,1
0,3	Bridgetown	7 517	4 680	1,8
1,9	Belmopan	2 932	1 130	+ 2,7
2,3	Hamilton	1 617	13 070	3,1
1,2	Ottawa	737 000	13 670	2,3
2,8	San José	245 370	1 290	+ 1,8
0,8	La Havane	1 951 373	n.d.	n.d.
0,7	Roseau	8 346	1 160	2,3
1,0	Washington	633 425	16 400	2,5
1,8	St Georges	7 500	970	2,5
0,2	Basse-Terre	13 656	n.d.	n.d.
2,8	Guatemala	754 243	1 240	+ 1,8
1,7	Port-au-Prince	719 000	350	2,6
3,5	Tegucigalpa	509 000	730	+ 3,4
1,9	Charlotte Amalie	3 976	9 280	2,2
1,1	Kingston	111 879	940	- 2,5
0,0	Fort de France	97 814	n.d.	n.d.
2,8	Mexico	9 191 295	2 080	4,2
—	Plymouth	3 500	n.d.	n.d.
3,1	Managua	608 020	850	- 1,0
2,3	Panama	388 638	2 020	4,1
1,2	San Juan	434 849	4 850	1,7
2,4	Saint Domingue	1 313 172	810	2,9
0,0	Basse-Terre	15 000	1 520	3,3
1,9	Kingston	24 764	840	4,2
2,1	Castries	47 600	1 210	5,0
3,0	San Salvador	445 054	710	- 0,6
1,6	Port of Spain	65 906	6 010	3,6

1,6	Bueno-Aires	2 908 001	2 130	- 0,4
2,7	La Paz	881 404	470	- 0,6
2,3	Brasilia	1 176 908	1 640	3,8
1,7	Santiago	4 225 299	1 440	1,8
1,9	Bogota	4 055 909	1 320	3,8
2,9	Quito	1 110 248	1 160	4,0
1,1	Georgetown	63 184	570	- 1,2
3,9	Cayenne	38 135	n.d.	n.d.
2,5	Asuncion	455 517	940	7,2
2,4	Lima	3 968 972	960	+ 1,0
0,2	Paramaribo	180 000	2 570	1,8
0,6	Montevideo	1 229 748	1 660	1,0
3,3	Caracas	2 664 225	3 110	1,3

Asie




31
14
10
4
1
32
15
5
24
12
26
36
9
8
7
21
40
18
29
3

ASIE

N°	Territoires	Superficie 1000 km²	Population 1983 p. (1000 hab.)
	Afghanistan	647	n.d.
19	Arabie saoudite	2 253	11 521
33	Bahrein	0,6	423
5	Bangladesh	143	100 592
31	Bhoutan	47	1 240
12	Birmanie	678	36 381
37	Brunei	5,8	224
1	Chine (Rép. Pop.)	9 561	1 041 094
14	Taïwan	36	18 732
13	Corée (Rép. Dém.)	121	20 357
11	Corée (Rép. de)	98	40 646
30	Émirats ar. unis	84	1 381
22	Hong Kong	1	5 425
2	Inde	3 280	765 147
3	Indonésie	1 904	162 212
17	Irak	435	15 654
10	Iran	1 648	45 160
23	Israël	21	4 296
4	Japon	372	120 579
25	Jordanie	98	3 512
	Cambodge	181	n.d.
29	Koweit	16	1 736
24	Laos	237	3 619
	Liban	10	n.d.
34	Macao	0,02	392
18	Malaisie	334	15 611
38	Maldives (îles)	0,3	178
28	Mongolie	1 565	1 909
15	Népal	141	16 527
32	Oman	212	1 181
6	Pakistan	804	94 933
8	Philippines	300	54 725
35	Qatar	22	320
36	Sikkim	7	314
26	Singapour	0,6	2 557
16	Sri Lanka	66	16 143
20	Syrie	185	10 483
9	Thaïlande	514	50 950
7	Vietnam	333	61 640
21	Yemen (Rép. ar.)	195	7 955
27	Yemen (Rép. dém. pop.)	288	2 086

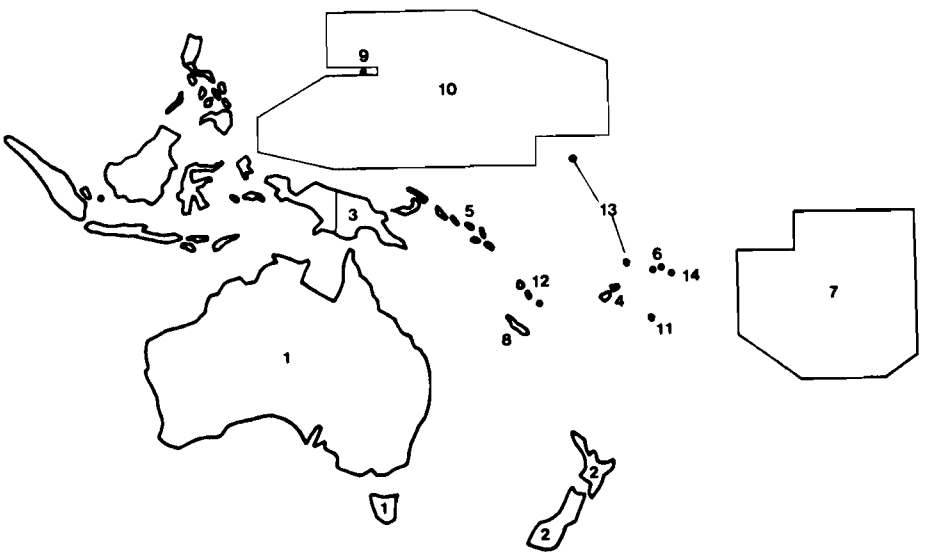
Taux de croissance 73-85	Capitale	Population Capitale	PNB/hab. US $ 1985	Taux de croissance % PNB 73-85
n.d.	Kaboul	1 036 407	n.d.	n.d.
4,8	Riyad	666 840	8 860	6,6
4,6	Manama	121 986	9 560	5,2
2,5	Dacca	3 188 000	150	4,5
2,0	Punakha	12 000	160	n.d.
2,0	Rangoon	2 458 712	190	5,9
3,7	Bandar Seri Begawan	57 558	17 580	8,4
1,4	Pékin	5 550 000	310	7,0
n.d.	Taï-Peh	2 388 874	n.d.	n.d.
2,6	Pyongyang	1 500 000	n.d.	n.d.
1,5	Séoul	8 364 379	2 180	7,1
10,2	Abu Dhabi	520 000	19 120	9,1
2,3	Victoria	501 680	6 220	8,7
2,2	New Delhi	5 517 270	250	4,3
2,3	Jakarta	6 503 000	530	6,3
3,6	Bagdad	3 236 000	n.d.	n.d.
3,1	Téhéran	5 734 199	n.d.	n.d.
2,2	Jérusalem	428 668	4 920	2,7
0,9	Tokyo	8 361 054	11 330	4,3
2,9	Amman	744 000	1 560	8,9
n.d.	Phnom Penh	600 000	n.d.	n.d.
5,7	Koweït	60 525	14 270	6,0
1,6	Vientiane	176 637	n.d.	n.d.
n.d.	Beyrouth	800 000	n.d.	n.d.
3,9	Macao	261 680	n.d.	n.d.
2,4	Kuala Lumpur	937 875	2 050	6,8
2,9	Malé	36 593	290	5,5
2,8	Oulan Bator	470 500	n.d.	n.d.
2,6	Kathmandou	393 494	160	3,1
4,4	Mascate	50 000	7 080	8,1
3,0	Islamabad	77 318	380	6,2
2,7	Manille	1 630 485	600	3,9
6,8	Doha	180 000	15 980	- 2,3
	Gangtok	36 768	n.d.	n.d.
1,3	Singapour	1 327 500	7 420	7,9
1,8	Colombo	602 000	370	5,1
3,4	Damas	836 668	1 630	6,3
2,2	Bangkok	5 018 327	830	6,0
2,6	Hanoï	2 674 400	n.d.	n.d.
2,8	Sanaa	277 818	520	7,2
2,3	Aden	264 326	540	5,6

OCÉANIE

N°	Territoires	Superficie 1000 km²	Population 1983 p. (1000hab.)	Taux de croissance 73-85	Capitale	Population Capitale	PNB/hab. US $ 1985	Taux de croissance % PNB 73-85
1	Australie	7687	15 789	1,3	Canberra	255 900	10 840	2,7
4	Fidji (îles)	18	702	2,0	Suva	71 255	1 700	3,0
11	Guam	0,54	123	1,5	Agana	3 284	5 470	- 3,0
13	Kiribati (ex. Gilbert)	0,96	64	1,8	Tarawa	17 921	n.d.	- 10,0
9	Nelle Calédonie	19	149	1,2	Nouméa	60 112	5 760	- 0,9
3	Nelle Zélande	269	3 246	0,6	Wellington	342 400	7 310	1,3
	Papouasie —							
2	Nelle Guinée	475	3 499	2,6	Port Moresby	144 000	710	1,4
6	Polynésie fran.	4	175	2,8	Papeete	23 496	7 840	5,5
14	Samoa Américaine	0,2	35	1,6	Pago Pago	2 500	5 410	1,7
7	Samoa occidental	2,8	163	0,3	Apia	33 170	660	n.d.
5	Salomon (îles)	3,0	267	3,3	Honiara	18 346	510	n.d.
8	Iles du Pacifique	1,8	161	2,5			n.d.	n.d.
12	Tonga	0,7	97	0,7	Nuku'alofa	27 740	730	7,1
15	Tuvalu	0,026	9		Funafuti	1 000	4 300	—
10	Vanuatu	12	134	2,8	Port-Vila	14 598		

Salomon indépendant depuis 1978 - 28 000 km²

Océanie

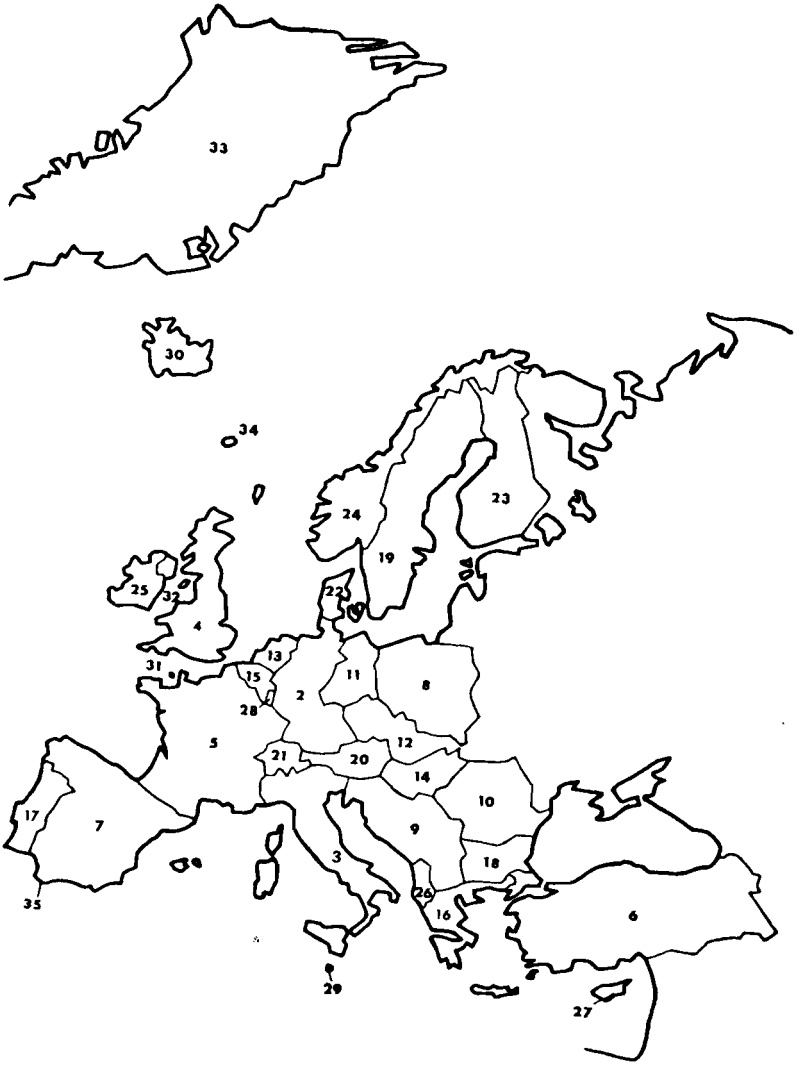


EUROPE

N°	Territoires	Superficie 1000km2	Population 1985 (1000 hab.)
26	Albanie	29	2 943
11	Allemagne DDR	108	16 716
2	Allemagne RFA	248	61 065
20	Autriche	84	7 545
17	Belgique	31	9 853
18	Bulagrie	111	8 980
27	Chypre	9	660
22*	Danemark	43	5 101
7	Espagne	505	38 730
23	Finlande	337	4 919
5	France	547	55 133
35	Gibraltar	0,006	29
16	Grèce	132	9 937
33	Gröenland	2 176	54
14	Hongrie	93	10 660
31	Iles Anglo-Norm.	0,19	130
34	Iles Feroë	1,4	46
32	Iles de Man	0,59	65
25	Irlande	70	3 560
30	Islande	103	241
3	Italie	301	56 945
28	Luxembourg	2,6	366
29	Malte	0,32	360
24	Norvège	324	4 144
13	Pays-Bas	34	14 486
8	Pologne	313	37 288
15	Portugal	92	10 198
10	Roumanie	238	22 866
4	Royaume-Uni	244	56 539
19	Suède	450	8 330
21	Suisse	41	6 421
12	Tchécoslovaquie	128	15 497
6	Turquie	781	49 406
1	URSS	22 402	277 563
9	Yougoslavie	256	23 100

Taux de croissance 73-85	Capitale	Population Capitale	PNB/hab. US $ 1985	Taux de croissance % PNB 73-85
+ 2,0	Tirana	220 000	n.d.	n.d.
- 0,1	Berlin Est	1 173 000	n.d.	n.d.
- 0,1	Bonn	292 000	10 940	2,0
0,0	Vienne	1 531 346	9 150	2,5
0,1	Bruxelles	982 434	8 450	1,4
0,3	Sofia	1 082 315	n.d.	n.d.
0,7	Nicosie	149 100	3 790	n.d.
0,1	Copenhague	1 372 019	11 240	1,4
0,9	Madrid	3 188 297	4 360	1,4
0,4	Helsinki	484 480	10 870	2,9
0,5	Paris	2 299 830	9 550	2,1
0,8	Gibraltar	—	4 370	1,3
1,0	Athènes	885 737	3 550	2,4
0,8	Godthaab	10 468	7 270	0,8
0,2	Budapest	2 064 374	1 940	4,2
0,3	—	—	10 390	0,8
1,2	Thorshaw	13 175	10 930	4,2
1,0	Douglas	19 944	5 910	0,0
1,2	Dublin	915 115	4 840	2,6
1,1	Reykjavik	87 106	10 720	2,1
0,3	Rome	2 834 094	6 520	2,0
0,3	Luxembourg	78 900	13 380	2,4
1,2	La Valette	14 096	3 300	7,9
0,4	Oslo	447 257	13 890	3,4
0,6	Amsterdam	676 439	9 180	1,3
0,9	Varsovie	1 641 300	2 120	n.d.
1,0	Lisbonne	807 167	1 970	2,1
0,8	Bucarest	2 211 460	n.d.	n.d.
0,0	Londres	6 754 500	8 390	1,1
0,2	Stockholm	1 551 165	11 890	1,2
0,1	Bern	143 847	16 380	1,1
0,5	Prague	1 185 693	n.d.	n.d.
2,2	Ankara	1 877 755	1 130	3,6
0,9	Moscou	8 546 000	n.d.	n.d.
0,8	Belgrade	1 470 073	2 070	3,6

Europe


33
30
34
24
23
19
25
32
22
4
31
13
15
11
8
2
28
5
12
21
20
14
10
17
7
9
3
18
26
16
6
35
29
27

ANNEXE II

BIBLIOGRAPHIE [1]

PREMIÈRE PARTIE : AGRICULTURE GÉNÉRALE

CHAPITRE 1. – PRÉSENTATION DES AGRICULTURES AFRICAINES

I. – Agricultures en Afrique

• Les systèmes céréaliers sahéliens et soudano-sahéliens.

DUGUE M.J. – Fonctionnement des systèmes de production et utilisation de l'espace dans un village du Yatenga Boukere (Burkina Faso). – Montpellier : DSA, 1986. – (Documents systèmes agraires n°1).

MILLEVILLE P. – Étude d'un système de production agro-pastoral sahélien. – ORSTOM, 1980.

RAYMOND G. – La mécanisation agricole en zone Sénoufo, recherche de références agraires comme aide aux décisions de mécaniser. Synthèse du document de BIGOT Y., pour le « colloque dynamique des systèmes agraires ». – MESRU, 1987.

• Les systèmes agraires de la zone forestière

BIARNES A. ; COLIN J.P. – Les systèmes de culture vivriers dans un village de Basse Côte d'Ivoire ; premières réflexions. – ORSTOM, 1985.

GUILLOT B. ; DIALLO Y. – Systèmes agraires et structures commerciales. L'exemple du village de Boutazab (région de la Sangha au Congo). – ORSTOM, 1984.

• Les systèmes agraires d'altitude

ACQUIER J.L. ; MANGUNGU EKOMBE ENDAMBO ; GAKINAHE GAJU. – Les Bashi du Kiwu : une société agraire en milieu montagnard. – CEGET, 1981.

DUPRIEZ H. – Paysans d'Afrique Noire. – Nivelles : Terres et vie, 1980.

JONES W. ; EGLI R. – Systèmes de culture en Afrique : les hautes terres du Zaïre, Rwanda et Burundi. – Washington : Banque Mondiale, 1984.

• Les systèmes agraires d'oasis

DOLLE V. – L'agriculture oasienne : une association judicieuse élevage-culture irriguée sous palmiers dattiers pour valoriser l'eau, ressource rare. – (In : Les Cahiers de la Recherche Développement, 1986, n° 9-10 : p. 70-73).

TOUTAIN G. – Éléments d'agronomie saharienne : de la recherche au développement. – Paris : INRA. Cellule des zones arides, 1979.

II. – Agricultures et actions de développement

BEDU V. ; MARTIN C. ; KNEPFLER, M. ; TALLEC M. ; URBINO A. – Appui pédagogique à l'analyse du milieu rural dans une perspective de développement. – Montpellier : CIRAD. DSA, 1987.

(1) Bibliographie établie en 1988. Quelques références complémentaires ont été ajoutées en fin de rubrique.

BLACT, CFECTI, GRET, SGAR-PACA. – Démarches de Recherche-Développement appliquées au secteur de la production rurale des pays en voie de développement. – Paris : GRET, 1984.
DUFUMIER M. – Systèmes de production et développement agricole dans le « Tiers Monde ». – (In : Les Cahiers de la Recherche Développement, 1985, n° 6 : p. 31-37).
JOUVE P. – Le diagnostic agronomique préalable aux opérations de Recherche-Développement. – (In : Les Cahiers de la Recherche Développement, 1984, n° 3-4 : p. 67-75).
MILLEVILLE P. – Recherches sur les pratiques des agriculteurs. – (In : Les Cahiers de la Recherche Développement, 1987, n° 16 : p. 3-7).

CHAPITRE 2 - **LE CLIMAT**

Publications du Ministère de la Coopération :
- Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965 : Côte d'Ivoire, Dahomey, Tchad, Mali, Niger, Sénégal, Haute-Volta, Mauritanie, Togo ; 1970 : Congo ; 1972 : Cameroun. (ORSTOM - C.I.E.H)
- Bilan hydrique efficace et prospective décadaire des besoins en eau des cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. – Paris, 1974
- Étude méthodologique pour l'utilisation des données climatologiques de l'Afrique Tropicale (ORSTOM - C.I.E.H.), 1974. – 3 vol.
  1. : Livre des codes
  2. : Livre de traitement systématique
  3. : Livre de l'évapotranspiration et des déficits hydriques.

Établissement d'un fichier pluviométrique opérationnel et étude des averses exceptionnelles - Application à la Côte d'Ivoire (ORSTOM - C.I.E.H.), 1976
- Évaluation et suivi de la production agricole en fonction du climat et de l'environnement. – Rapport ESPACE, 1987.

ASSAD, D. ASSAD. – Utilisation des satellites météorologiques pour le suivi agroclimatique des cultures en zone-Sahélienne - Cas du Sénégal. – Thèse de doctorat. – Montpellier : USTL, 1987
BALDY, C. – Agrométéorologie et développement des régions arides et semi-arides. – Paris : INRA, 1986
CHAROY, J. ; FOREST, F. ; LEGOUPIL, J.C. – Évapotranspiration, besoin en eau des cultures. Relation eau-sol, estimation fréquentielle des conditions d'alimentation hydrique en cultures pluviale et irriguée. Bilan hydrique. – Paris : IRAT, 1978.
CHOPART, J.L. ; NICOU, R. – Vingt ans de culture continue avec et sans labour en sec dans un sol sableux dunaire au Sénégal. – Montpellier : IRAT-CIRAD, 1987.
CILF. Paris. – La sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée. – Paris : CILF, 1985.
CORTIER ; POCTHIER B. ; IMBERNON J. – Le maïs au Sénégal : effet des techniques culturales et des conditions hydriques en culture pluviale. – (In : L'Agronomie Tropicale, 1988, 43 (2) : p. 85-90)
DASTANE, N.G. – Précipitations efficaces en agriculture irriguée. – Rome : FAO, 1977. – (Bull. irrigation et drainage n° 25).
DAVY, Eg. ; MATTFI, F. ; SALOMON, S. – Une évaluation du climat et de l'eau pour le développement de l'agriculture dans la zone sahélo soudanienne de l'Afrique de l'ouest. – Genève : OMM, 1977.
DEMANGEOT, J. – Les espaces naturels tropicaux : essais de géographie physique. – Paris : Masson, 1976. – (Collection géographie)

FAO. – Données agroclimatologiques pour l'Afrique. – Rome : FAO, 1984. – 2 vol.
FAO. – Colloque international sur la désertification. Nouakchott, 17-19 décembre 1973. – Rome : FAO, 1973
FOREST, F. ; REYNIERS, F.N. – Proposals for the classification of agroclimatic situations of upland rice terms in terms of water balance. In : IRRI. – Progress in upland rice research. – Los Banos, 1986.
FRANQUIN, P. – Analyse agroclimatique en régions tropicales : 1. Les conditions hydriques. 2. Saison pluvieuse et saison humide. Application. – (In : Cahiers ORSTOM. Série biologie, 1968, n° 5, p. 15-23 ; 1969, n° 9, p. 65-95).
FRANQUIN, P. – La climatologie fréquentielle en agriculture tropicale. – (In : Techniques et développement, 1973, n° 5, p. 6-15)
FRETEAU, J.M. ; POSS, R. ; SARAGONI, H. – Ajustement d'un modèle de bilan hydrique à des mesures tension neutroniques in situ sous culture de maïs. – (In : L'Agronomie Tropicale, 1987, 42 (2) p. 94-103)
GENERE, B. – Élaboration d'un réseau multilocal de stations climatologiques automatiques à la Reunion. – Thèse docteur ingénieur. – Montpellier : ENGREF/IRAT, 1985
GRISOLLET, H. ; GUILMET, B. ; ARLERY, R. – Climatologie. Méthodes et pratiques. – 2e éd. – Paris : Gauthier-Villars, 1973. – (Monographies de météorologie). – (épuisé)
INSAH. – Bilan des essais variétaux 81-84 du projet mil, sorgho, niébé, maïs. – Bamako : INSAH-CILSS, 1985
LEROUX, M. – Le climat de l'Afrique tropicale. – Paris : Champion, 1983
NEGRE T. ; IMBERNON J. ; GUINOT J.-P. ; SEGUIN B. ; BERGES J.-C. ; GUILLOT B. – Estimation et suivi de la pluviométrie au Sénégal par cumul des images infrarouge thermique du satellite Météosat. – (In : L'Agronomie Tropicale, 1988, 43 (4) : p. 279-288)
NICOU, R. ; CHARREAU, C. – Soil tillage and water conservation in semi-arid west american. – In : Appropriate technologies for farmers in West Africa. – Purdue University, 1985. – (disponible en français)
PAGNEY, P. ; ERECAUT, A. – Climatologie et hydrologie fluviale à la surface de la terre. – Paris : CDU/SEDES, 1978
PAGNEY, P. – Les climats de la terre. – Paris : Masson, 1976
PEGUY, Ch P. – Précis de climatologie. – 2e éd. – Paris : Masson, 1970
PIERI, C. – Food crop fertilisation and soil fertility - The IRAT experience. – In : Appropriate technologies for farmers in West Africa. – Purdue University, 1985 (disponible en français)
POSS, R. ; SARAGONI, H. – Calage du cycle cultural du maïs et zonage pédoclimatique au Togo Méridonial. – Lomé : ORSTOM - DRA - IRAT, 1987
POSS R. ; SARAGONI H. ; IMBERNON J. – Bilan hydrique simulé du maïs au Togo méridional. Réponse à l'eau, dates de semis et zonage agro-pédo-climatique. – (In : L'Agronomie Tropicale, 1988, 43 (1) : p. 18-29)
REMENIERAS, G. – L'hydrologie de l'ingénieur. – 3e éd. – Paris : Eyrolles, 1986. – (Collection du Laboratoire national d'hydraulique)
REYNIERS, F.N. – Critères de tolérance à la sécheresse du riz pluvial en fonction du milieu édapho-climatique. – In : La sécheresse en zone intertropicale : pour une lutte intégrée. – Montpellier : CIRAD, 1985
RODIER, J. – Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo. – Paris : ORSTOM, 1964. – (Mémoire ORSTOM n° 6)
SIRCOULON, J. – Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses «1973» et «1940». – (In : Cahier ORSTOM. Série hydrologie, 1976, XIII (2) p. 75-174)
SLATYER, R.O. – Réponse des plantes aux facteurs climatiques. Actes du Colloque d'Uppsala. – Paris : UNESCO, 1973. – (Écologie et conservation, 5.) (épuisé)

STEINMETZ, S. ; REYNIERS, F. ; FOREST, F. – Evaluation of climatic risk on upland in Brazil. – In : La sécheresse en zone intertropicale : pour une lutte intégrée. – Montpellier : CIRAD, 1985.

CHAPITRE 4 - **TÉLÉDÉTECTION**

BARIOU, R. – Manuel de télédétection : photographies aériennes, image radar, thermographie, satellites. – Paris : SODIPE, 1978.

BARIOU, R. ; LECAMUS, D. – Dossiers de télédétection. – Rennes : Presses Universitaires de Rennes II, 1985. – 6 dossiers :
1. Réponses spectrales des végétaux ; 2. Indice de végétation ; 3. L'atmosphère ; 4. Rayonnement électromagnétique ; 5. Albedo et réflectance ; 6. Maladies et végétaux, géochimie

BDPA. – Projet SOSPAT : Étude pilote d'amélioration des statistiques agricoles par télédétection. – Paris : BDPA, 1986-1987

CASSANET, J. – Télédétection satellitaire : satellites et capteurs. – Caen : Édition Paradigme, 1984

CAZABAT, C. – Inititation pratique à la télédétection. – Paris : IGN, 1975

CHABREUIL, A. ; CHABREUIL, M. – Exploration de la terre par les satellites. – Paris : Hachette, 1979

CIPEA. – Enquête à basse altitudue. – Addis Abeba : Centre International pour l'Élevage en Afrique, 1986. – (Monographie ; 4)

COUZY, A. – La télédétection. – Paris : PUF, 1983. – (Que sais-je ? ; 1919)

DIZIER, J.L. ; LEO, O. – Télédétection, principes et applications cartographiques. – Paris : FORHOM-BDPA, 1986.

GREGOIRE, J.M. ; ZEYEN, R. – Campagne radiométrique par U.L.M. – CCR ISPRA (Projet CILSS FED, 1987). – Ségou : 1985

SPOT Image. – Guide des utilisateurs de données SPOT. – Toulouse : CNES-SPOT Image, 1986. – 2 vol.
1. Manuel de référence ; 2. Guide pratique

SCANVIC, J.Y. – Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre. – Orléans : BRGM, 1985. – (Manuel et Méthodes 7)

CHAPITRE 5 - **SOLS**

Aménagement écologique. Réflexions méthodologiques. Exemples pratiques. – (In : Agronomie tropicale, 1974, 29 (2-3) : p. 121-363)

AUBERT, G. – Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la section de pédologie de l'ORSTOM. – (In : Cahiers ORSTOM. Série pédologie, 1965, 3 (3), p. 269-298)

BDPA ; ORSTOM. – Pédologie et Développement. – Paris : Ministère de la Coopération, 1991. – (Techniques Rurales en Afrique)

BOYER, J. – Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides. – ORSTOM. Initia. Doc. Techn., 1976 n° 35 : p. 70-87

BOYER, J. – L'aluminium échangeable : incidences agronomiques, évaluation et correction de sa toxicité. (In : Cahiers ORSTOM Série Pédologie, 1976, XIV, 4 p. 259-269)

CHARREAU, C. ; NICOU, R. – L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences économiques. – Paris : IRAT, 1971. – (Bulletin Agronomique n° 23)

DABIN. – Les facteurs de la fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée. – (In : Bulletin spécial AFES, 1961 : p. 108-130)

DABIN. – Appréciation des besoins en phosphore dans les sols tropicaux. Les formes du phosphore dans les sols de Côte d'Ivoire. – (In : Cahiers ORSTOM. Sér. Pédol., 1963, 3, p. 27-42)
DABIN, B. – Premiers résultats d'une enquête sur les teneurs en soufre des sols tropicaux. C.R. Colloque Soufre en Agriculture, Versailles, nov. 1970, p. 113-135
DEMOLON, A. – Principes d'agronomie. T.1. Dynamique du sol, 5e éd. – Paris : Dunod, 1960 (épuisé)
DEWIS, J. ; FREITAS, F. – Méthodes d'analyse physique et chimique des sols et des eaux. – Rome : FAO, 1984. – (Bulletin pédologique n° 10)
D'HOORE, J.L. – La carte des sols d'Afrique au 1/5 000 000. – Lagos : C.C.T.A., 1964. – 2 vol. – (Publication n° 93)
1. Carte des sols d'Afrique
2. Mémoire explicatif
DUCHAUFOUR, Ph. – L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils. – Paris : Masson, 1968
DUCHAUFOUR, Ph. – Atlas écologique des sols du monde. – Paris : Masson, 1976
DUCHAUFOUR, Ph. ; SOUCHIER, B. – Pédologie. – Paris : Masson. – 2 vol.
1. Pédogénèse et classification, 1983 ; 2. Constituants et propriétés du sol, 1979
DUCHAUFOUR, Ph. – Abrégé de pédologie. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1984. – (Abrégé de sciences)
DURAND, J.H. – Utilisation des eaux salines pour l'irrigation. – (In : Bulletin technique d'information, 1973, n° 276 p. 39-58)
DUTHIL, J. – Éléments d'écologie et d'agronomie. – Paris : Baillière, 1971-1973. – 3 vol. – (Collection des ingénieurs des techniques agricoles)
FAO. – Soil survey investigations for irrigation. – Rome : FAO, 1986
FORESTIER, J. – Le potassium et le caféier Robusta. – (In : Fertilité, 1968, n° 30, p. 3-63)
GAUCHER, G. ; BURDIN, S. – Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. – Paris : Presses Universitaires de France, 1975
GIRARD, H. ; ROUGIEUX, R. – Techniques de microbiologie agricole. – 2e éd. – Paris : Dunod, 1967. – (épuisé)
HENIN, S. – Cours de physique du sol. – Paris : ORSTOM, 1980. – 2 vol. – (Initiations-Documentations techniques n° 28,29)
1. Texture-Structure-Aération
2. L'eau et le sol. Les propriétés mécaniques. La chaleur et le sol.
HENIN, S. ; GRAS, R. ; MONNIER, G. – Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. – 2e éd. – Paris : Masson, 1969
INFORMATIQUE ET BIOSPHERE. – Glossaire de pédologie. Description de l'environnement en vue du traitement informatique. – Paris : Informatique et biosphère, 1972
IRAT. Montpellier. – Intensification de l'agriculture pluviale : relations entre la plante, le sol, et l'eau. – Montpellier : IRAT, 1987. – (Mémoires et Travaux n° 13)
KAMPRATH, E.J. – Soil acidity and liming in soils of the humid tropics. – Washington : Edit. Nation. Acad. Sci., 1972. – (épuisé)
MAIGNIEN, R. – Manuel pour la description des sols sur le terrain. – Bondy : ORSTOM, 1980
OLSON, G.W. – Interprétation des prospections pédologiques à l'usage de l'ingénieur. – Rome : FAO, 1974. – (Bulletin pédologique n° 19)
ORSTOM. – Glossaire de pédologie. Description des horizons en vue du traitement informatique. – Paris : ORSTOM, 1969 (Initiations - Documentations techniques n° h. s.)
ORSTOM. Paris. – Sols et eaux : acquis et perspectives de la recherche agronomique française en zone intertropicale. – Paris : ORSTOM, 1987

SEGALEN, P. – L'aluminium dans les sols. – Paris : ORSTOM, 1973. – (Initiations - Documentations techniques n° 22)
VINK, A. – Land use in advancing agriculture. – Berlin, Heidelberg, New-York : Springer Verlag, 1975. – (Advances series in agriculture sciences, 1). – (épuisé)

CHAPITRE 6 - **CONSERVATION DES SOLS**

Publications du Ministère de la Coopération :
Collection «Techniques Rurales en Afrique»
Conservation des sols au Sud du Sahara. (C.T.F.T), 2e éd., 1979
Les ouvrages en gabions, 1974
Mémento du Forestier, (C.T.F.T), 3e éd., 1989

BONFILS, M. ; DELLERE, R. (préf.). – Halte à la désertification au Sahel : guide méthodologique. – Paris : Karthala, 1987
CONSTANTINESCO, I. – Soil conservation for developing countries. – Rome : FAO, 1976. – (Soils Bulletin, 30) (épuisé)
DURAND, J.H. – Arrêter le désert. – Paris : ACCT, CILF, 1988.
FAO. – Aménagement des bassins versants. – Rome : FAO, 1977. – (Cahier FAO conservation des sols ; 1).
FAO. – Conservation des ressources naturelles en zone arides et semi-arides. – Rome : FAO, 1980. – (Cahier FAO conservation des sols ; 3)
FAO. – La défense des terres cultivées contre l'érosion hydraulique. – Rome : Siège, 1967. – (Progrès et mise en valeur agriculture, n° 81)
GRECO, J. – La défense des sols contre l'érosion. – Paris : Maison Rustique, 1978. – (Techniques d'avenir)
KELLEY, H. W. ; GTZ. – Garder la terre en vie : l'érosion des sols, ses causes et ses remèdes. – Rome : FAO, 1983. – (Bulletin pédologique ; 50)
LANDON, P. – La lutte contre l'érosion dans le bassin versant. – S.L. : AFBSN, 1988
NAHAL, I. – Principes de conservation du sol. – Paris : Masson, 1975. – (Collection de géographie applicable)
Protection des sols à pente faible ou modérés. – (In : Cahiers d'agriculture pratique des pays chauds, 1968, n° 1 : p. 3-17)
Protection des sols à pente assez forte, forte, et très forte. – (In : Cahiers d'Agriculture pratique des pays chauds, 1968, n° 3 : p. 115-123)
ROOSE, E.J. – Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne. – Abidjan : ORSTOM. Centre d'Adipodoumé, 1972
Spécial érosion. – In : Machinisme agricole tropical, 1984, n° 87

CHAPITRE 7 - **FERTILISATION**

CHAMINADE, R. – Recherches sur la fertilité et la fertilisation. – (In : Agronomie tropicale, 1972 n° 9, p. 891-904)
COLLINS, P. – Fertilizers. – London : The Overseas Development Institute, 1963 (épuisé)
DE GEUS, J. G. – Fertilizer Guide for the Tropics and Subtropics. – 2e éd. – Zurich : Centre d'Étude de l'Azote, 1973 (épuisé)
DEMARLY, Y. – Génétique et amélioration des plantes. – Paris : Masson, 1977
DEMOLON, A. – Principes d'agronomie. – T. II Croissance des végétaux cultivés. – 6e éd. – Paris : Dunod, 1968 (épuisé)

DIEHL, R. – Agriculture générale. – 2e éd. – Paris : J.B. Baillière, 1975. – (Encyclopédie Agricole)
Données récentes concernant la fertilisation des prairies. – (In : Fourrages, 1972, n° 62, p. 81-202)
DUCLOS, G. et collab. – Les analyses de sols et leur interprétation en vue du conseil fertilisation. – (In : Eau et Aménagement de la Région Provençale, 1977, n° 15, p. 2-24)
DUTHIL, J. – Éléments d'écologie et d'agronomie. – Paris : Baillière, 1971-1973. – 3 vol.
1. : Connaissance du milieu, 1971
2. : Exploitation et amélioration du milieu. Bases d'une nutrition efficace du végétal, 1973
3. : Exploitation et amélioration du milieu. Emploi des facteurs de la production végétale, 1973
FAO. – Emploi des engrais dans les systèmes de cultures multiples. – Rome : FAO, 1986
FAO. – Les engrais et leurs applications. Précis à l'usage des vulgarisateurs. – 2e éd. – Rome : FAO, 1978
Fertilisation raisonnée : (In : Fermes modernes, 1975, n° h. s.)
GROS, A. – Engrais. Guide pratique de la fertilisation. – 6e éd. – Paris : La Maison Rustique, 1974
Influence de différents régimes hydriques sur l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les cultures.
I. Régimes hydriques, systèmes racinaires, et modalités d'alimentation en eau
II. Influence de l'humidité du sol et des flux hydriques sur l'absorption des éléments minéraux par les racines.
III. Alimentation minérale des plantes en culture irriguée ou non et répercussions sur la fertilisation.
(In : Annales Agronomiques, 1974, 25 :
I (4) : 575-586 ; II (5) : 681-696 ; III (6) : 811-820)
Informations sur la fertilisation en régions tropicales et subtropicales. Fiches de l'agronomie I. – In : Fertilité, 1965 (24)
Institut International de la Potasse. – Colloque, 10, 1973. Abidjan. – Le potassium dans les cultures et les sols tropicaux. – Berne : Institut International de la potasse, 1974
Manutention et distribution des engrais. – (In : Études du CNEEMA, 1975 (400) : 72 p.)
NICOU, R. ; POULAIN, J.F. – Les effets agronomiques du travail du sol en zone tropicale sèche. – (In : Machinisme agricole tropical, 1972 (37) : 35-41)
PONTAILLER, S. – Engrais et fumure. – 5e éd. – Paris : PUF, 1982. – (Que sais-je ?, n° 703)

CHAPITRE 8 - **PRODUITS DE LUTTE ANTI-PARASITAIRE**

A.C.T.A. – Index des produits phytosanitaires. France-Afrique méditerranéenne et tropicale. – Paris : A.C.T.A., 1989
A.C.T.A. – La réglementation française des produits phytosanitaires. – 3e éd. – Paris : ACTA, 1983 (épuisé)
APPERT, J. – Le stockage des produits vivriers et semenciers. – Paris : ACCT, Maisonneuve et Larose, 1985. – 2 vol.
1. : Dégâts, pertes et moyens de stockage
2. : Lutte contre les ravageurs - Hygiène du stockage
APPERT, J. ; DEUSE, J. – Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques. – Paris : Maisonneuve et Larose, ACCT, 1982. – Bibliogr. – (Techniques agricoles et productions tropicales ; 31)

BOVEY, R. – La défense des plantes cultivées. Traité pratique de phytopathologie et de zoologie agricole. – 7e éd. – Lausanne : Payot, 1979

CIRAD. – Fichier des produits phytosanitaires d'Afrique (Afrique du Nord, Afrique de l'Ouest et Centrale, Madagascar). – Montpellier : CIRAD. – 200 fiches

CIRAD. – Regional agro-pesticide index : Thaïland, Philippines, Singapour, Brunei, Indonesia, Malayisia. – 2e éd. – Montpellier : CIRAD, 1988. (Diffusion Franco-Pacific, Bangkok)

CORNUET, P. – Éléments de virologie végétale. – Paris : INRA, 1987. –

DELATTRE, R.J. – Parasites et maladies en culture cotonnière. Manuel phytosanitaire. – Paris : I.R.C.T, 1973

DEUSE, J. ; LAVABRE, E.. – Le désherbage des cultures sous les tropiques. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1979. (Techniques agricoles et productions agricoles)

Fichier des produits phytosanitaires employés en Afrique (CNEARC - DUA/CPI) Yaoundé, 1987.

KRANZ, J. ; SCHMUTTERER, H. ; KOCH, W. – Maladies, ravageurs et mauvaises herbes des cultures tropicales. – Berlin : Parey, 1981. – Bibliogr.

LACOSTE, P. – La défense des cultures à Madagascar. – Tananarive : BDPA, 1970. – (épuisé)

La lutte intégrée en verger. – (In : Bulletin Technique d'information, 1970 (249) : 239-334)

LAVABRE, E.M. – Insectes nuisibles des cultures tropicales (cacaoyer, caféier, colatier, poivrier, théier). – Paris : Maisonneuve et Larose, 1970. (Techniques agricoles et productions tropicales, n° 20)

LAVABRE, E. ; DEAT, H. ; DEUSE, J. – Le désherbage des cultures tropicales. – Paris : Maisonneuve et Larose, ACCT, CTA, 1988. – (Le Technicien d'Agriculture tropicale)

MERLIER, H. ; MONTEGUT, J. – Adventices tropicales. Flore aux stades plantule et adulte de 123 espèces. – Paris : Montpellier : ORSTOM, CIRAD, ENSH, 1982

MESSIAEN, C.M. – Les variétés résistantes : méthode de lutte contre les maladies et ennemis des plantes. – Paris : INRA, 1981. – Bibliogr.

O'CONNOR, B.A. – Ennemis et maladies exotiques des végétaux. – Nouméa : Comité du Pacifique Sud, 1972. (épuisé)

Publications du PRIFAS (CIRAD/PRIFAS) et Ministère de la Coopération :

Collection «Les Acridiens»

DURANTON, J.F. ; LAUNOIS, M. – Écologie opérationnelle en zone tropicale semi-aride, 1978

DURANTON, J.F. ; LAUNOIS, M. ; LAUNOIS-LUONG, M.H. ; LECOQ, M. – Les acridiens du Sahel aux îles du Cap Vert, 1980

DURANTON, J.F. ; LAUNOIS, M. ; LAUNOIS-LUONG, M.H. ; LECOQ, M. – Etude pluridisciplinaire intégrée de l'écologie du criquet migrateur malgache *Locusta migratoria capito* (SAUSS), 1978

DURANTON, J.F. ; LAUNOIS, M. ; LAUNOIS-LUONG, M.H. ; LECOQ, M. – Programme de Recherches Interdisciplinaire Français sur les Acridiens du Sahel. – PRIFAS 1975-1978 : bilan scientifique et technique 1978

DURANTON, J.F. ; LAUNOIS, M. ; LAUNOIS-LUONG, M.H. ; LECOQ, M. ; RACHADI, T. – Guide anti-acridien du Sahel, 1987. – Bibliogr.

LAUNOIS, M. – Manuel pratique d'identification des principaux acridiens du Sahel, 1979.

LAUNOIS, M. – Modélisation écologique et simulation opérationnelle en acridologie : application à *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877), 1978

LAUNOIS, M. ; LAUNOIS-LUONG, M.H. – Catalogue iconographique des principaux acridiens du Sahel, 1987

LAUNOY, M. ; LAUNOIS-LUONG, M.H. ; LECOQ, M. – Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche. – 1982. – 2 vol.

LECOQ, M. – Les déplacements par vol du criquet migrateur malgache en phase solitaire. Leur importance sur la dynamique des populations et la grégarisation, 1975 (épuisé)

ROUXEL, R. ; GENER, P. – Le désherbage chimique en hévéa-culture. (Voir bibliogr. Hévéa)

SNELSON, J.T. – Gram protectants - Caulerra - Australian, 1987.

Tables de détermination des principaux ravageurs des denrées entreposées dans les pays chauds. – Eschborn : GTZ, 1984

TISSUT, M. ; SEVERIN, F. – Plantes herbicides et désherbage : bases scientifiques et techniques. – Paris : ACTA, 1984. – Bibliogr.

VAN DES PLANK, J.E. – Résistance des plantes aux maladies. – Paris : Agence de Coopération Culturelle et Technique, 1974

VOCHELLE, J. ; FAVRE, J. – Les ennemis des cultures. Les procédés modernes de la lutte antiparasitaire. – Paris : Hachette, 1969. (Encyclopédie des connaissances agricoles) (épuisé)

Législation et Réglementation Phytosanitaire

THEISSEN, J.G. – Recueil des textes législatifs et réglementaires intéressant la protection des végétaux. Luxembourg : Commission des Communautés Européennes.

CHAPITRE 9 - **PRODUCTION DE MATÉRIEL VÉGÉTAL**

BONO M. – Informations, données pratiques et propositions en vue du contrôle de la production de semences sélectionnées de : maïs, mil pénicillaire, sorgho, riz, blé, arachide, niébé. (*Vigna unguiculata*). – (In : L'Agronomie Tropicale, 1974, 29 (1) : p. 43-96).

BONO M. – La multiplication des semences vivrières tropicales. – Paris : PUF, 1981.

BOSSARD R. ; CUISANCE P. – Botanique et techniques agricoles. – 5e éd. – Paris : J.B. Baillières, 1981. – (Collection horticole, n° 1).

CHAUSSAT R. ; BIGOT C. – La multiplication végétative des plantes supérieures. – Paris : Gauthier-Villars, 1980. – (Formation Permanente) (épuisé).

ECHEGUT M. ; TREVILLE-BREHIER A. ; BEAUVIEUX J.C. – Introduction à la génétique. – 2e éd. – Paris : Baillière, 1974 (Collection agricole) (épuisé).

FAO. – Conditionnement des semences de céréales et légumineuses à graines. – Rome : FAO, 1985.

FEISTRITZER W. P. ; KELLY A. F. – Production de semences améliorées. Manuel pour l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation de programmes et projets intéressant les semences. – Rome : FAO, 1979. – (épuisé).

GENIN A. – La botanique appliquée à l'horticulture. – 3e éd. – Paris : Baillières, 1981. (Collection des Manuels professionnels horticoles).

GEORGE R.A.T. – Technologie des graines de légumes : guide pour la production, le tri, le traitement, l'emmagasinage et le contrôle qualificatif des graines de légumes. – Rome : FAO, 1983. – (épuisé).

HANZELIN E. – Manuel du producteur de semences de maïs en milieu tropical. – Montpellier : IRAT, 1988.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. – International rules for seed testing. – As-NCH, International Seed Testing Association, 1976. – 2 vol. – (Seed Science and Technology, 4).

JEAN-PROST P. – La botanique, ses applications agricoles. – 5e éd. – Paris : Baillières, 1972. – (2 vol.) :
1. : Morphologie, anatomie, physiologie de la reproduction
2. : Physiologie de la nutrition et physiologie de la croissance

MARCHAND J.L. – La sélection récurrente : objectifs et méthodes. – (In : L'Agronomie Tropicale, 1975, 3 : p. 217-230).

Méthodes d'amélioration du matériel végétal « L'idéotype ». – (In : Les Cahiers d'Agriculture Pratique des Pays Chauds, 1971 (4) : p. 213-216).

NICOLAS P. ; ROCHE HANON Y. – La pépinière. – Paris : Baillières, 1987.

PERNES J. – Le matériel végétal de départ. Structure des populations naturelles. Techniques de prospection, observation du matériel récolté. – (In : L'Agronomie Tropicale, 1975, 30 (3) : p. 205-216).

PERNES J. – Gestion des ressources génétiques des plantes. – Paris : ACCT, 1984. – 2 vol.
1. Monographies ; 2. Manuel.

PIERIK R.L.M. – In vitro culture of higher planto. – Dordrecht (Pays-Bas) : Martino Nighoff publishers, 1987.

Productions et contrôle des semences et plants. – (In : Bulletin Technique d'Information, 1969 (243) : p. 671-748).

SGARAVATTI E. ; BEANEY-LONGHI J. – Liste mondiale de sources de semences – List of seed sources – Lista mundial de fuentes de semillas. – Rome : FAO, 1982.

TREMOLIÈRES J. – Biologie générale. – Paris : Dunod, 1970-1972. – 3 vol. :
1. Bases physicochimiques de la biologie. – 3e éd. 1972
2. Physiologie cellulaire. 2e éd. – 1970
3. Physiologie du milieu intérieur et des organes. 2e éd. – 1972 (épuisé).

VANDEVENNE R. – Production et contrôle des semences de maïs en zone tropicale. – Paris : IRAT, 1983. – (Mémoires et Travaux, 5) (épuisé).

VANDEVENNE R. – Production et contrôle des semences de riz en zone tropicale. – Paris : IRAT, 1983. – (Mémoires et Travaux, 4).

CHAPITRE 10 - **IRRIGATION ET DRAINAGE**

Publications du Ministère de la Coopération :
Collection «Techniques Rurales en Afrique».

- Évaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations. – (C.T.G.R.E.F. Aix-en-Provence), 1979
- Les ouvrages en gabions, (SOGETHA), 1974. – (Nle éd. 1991en prép.)
- Hydraulique pastorale (BCEOM-IEMVT), 1973 (épuisé)
- Les ouvrages d'un petit réseau d'irrigation, (SOGETHA), réimpr., 1982
- La construction des puits en Afrique tropicale (BURGEAP), 2e éd. 1981. – 3e éd. 1991
- Irrigation gravitaire par canaux. Conception du périmètre, étude des canaux et leurs revêtements (SOGREAH), 1976
- Manuel de gestion des périmètres irrigués (SCET-International), 1977 (épuisé) (Nle éd. en prép.)
- Manuel du technicien du génie rural. Travaux sur un périmètre d'irrigation (SOGREAH), 3e éd. 1985
- Mémento de l'adjoint technique des travaux ruraux (BDPA), 1977. – 2e éd. en prép.
- Les pompes et les petites stations de pompage (SOGREAH), 2e éd. 1978
- Quelques aspects de l'hydraulique des barrages : suggestions pour le dimensionnement des petits barrages en Afrique sahélienne ou tropicale. Remarques sur les érosions hydrauliques (E.I.E.R ; C.I.E.H.), 1979

– Forage d'eau. Matériel et techniques mis en œuvre en Afrique centrale et de l'ouest (CIEH-BURGEAP), 1983
FOREST, F. – Bilan hydrique efficace et prospective décadaire des besoins en eau des cultures pluviales en zone soudano-sahélienne, 1974. – (Dossier technique)

AFEID. (Journée d'études nationales. Orléans, 1973). – Évolution récente de la mécanisation du drainage. – 6 vol. – Paris : Association Française pour l'Étude des Irrigations et Drainages, 1973
BAZIADOLY, J. – Les nouvelles techniques d'irrigation par aspersion. (In : Machinisme agricole tropical, I 1976 (56) : 3-31 ; II 1977 (57) : 3-48
B.C.M.E.A. – Méthode rapide de calcul d'une installation d'irrigation. – Paris : Bureau commun du Machinisme et de l'Équipement Agricole, s.d
BERTON, S. – La maitrise des crues dans les bas-fonds, petits et microbarrages en Afrique de l'Ouest. – Paris : Ministère de la Coopération, GRET, AFVP, ACCT, 1988
BOOHER, L.J. – L'irrigation de surface. – Rome : FAO, 1974 (Progrès et mise en valeur. Agriculture n° 95) (épuisé)
BRGM. – Notices explicatives des cartes de planification pour l'exploitation des eaux souterraines de l'Afrique sahélienne. – Orléans : BRGM, 1975. – 2 vol.
CARLIER, M. – Hydraulique générale et appliquée. – 2e éd. – Paris : Eyrolles, 1980. (Direction des Études et Recherches d'EDF)
CHAROY, J. ; FOREST, F. ; LEGOUPIL, J.C. – Évapotranspiration, besoin en eau des cultures. Relations Eau-Sol. Estimation fréquentielle des conditions d'alimentation hydrique en culture pluviale et irriguée. Bilan hydrique. – Paris : IRAT, 1978. (épuisé)
CHEZE, B. – Note sur l'irrigation au goutte à goutte. – Antony : CEEMAT, 1974 (épuisé)
CIRAD. Montpellier. – Aménagements hydroagricoles et systèmes de production. Actes du 3e séminaire 1986/1 et 1986/2.
Congrès des irrigations et du drainage. – New-Delhi : CIID. – 1966-1987
EDWARDS, K.A. et Al. – Exploitation des ressources hydrauliques en Afrique tropicale. – Paris : CIPEA, ACCT, 1988
FAO. – Rapport du séminaire régional FAO/DANIDA sur le développement de petits aménagements hydro-agricoles en Afrique de l'ouest. – Ougadougou 29 septembre – 6 octobre 1975. – Vol. II Rapport techniques. – Rome : FAO, 1977 (épuisé)
FUNEL, J.M. ; LAUCOIN, G. – Politiques d'aménagement hydroagricole. – Paris : Presses Universitaires de France, 1980
ILRI. – Drainage principles and applications. Wageningen : International Institute for Land Reclamation Improvement, 1973. – 4 vol. – (Publication 16) (épuisé)
IRAT. – Relations eau-sol-plante. Bioclimatologie. Irrigation. (In : Agronomie tropicale, 1975, 30 (2) : 118-127)
IRRIGATION. – In : Bulletin Technique d'Information, 1. – 1977 (317-318) : 97-193 ; II. – 1977 (319-320) : 197-302)
KELLER, Ph. D. ; KARMELI, Ph. D. – Manuel de calcul d'un réseau d'irrigation goutte à goutte. – Le Tholonet : C.T.G.R.E.F, 1975 (épuisé)
MONCHY, H. – Mémento d'assainissement. Mise en service, entretien et exploitation des ouvrages d'assainissement. 3e éd. – Paris : Eyrolles, 1976 (épuisé)
POIREE, M. ; OLLIER, C. – Assainissement agricole. Drainage par tuyaux ou fossés. Aménagement des cours d'eau et émissaires. – 6e éd. – Paris : Eyrolles, 1981. (Bibliothèque de l'Institut de Topométrie du CNAM)
POIREE, M. ; OLLIER, C. – Irrigation, les réseaux d'irrigation. Théorie technique et économie des arrosages. – 6e éd. – Paris : Eyrolles, 1983. – (Bibliothèque de l'Institut de Topométrie du CNAM)

VALENTIN, A. – Ouvrages d'assainissement. Calcul et exécution. – Paris : Eyrolles, 1976 (épuisé)

A consulter également la collection :
Bulletin d'irrigation et de drainage, Rome, FAO

CHAPITRE 11 - **MACHINISME**

Publications du Ministère de la Coopération :
Collection «Techniques Rurales en Afrique» :
- Hydraulique pastorale (BCEOM-IEMVT), 1973 (épuisé)
- Manuel de culture avec traction animale (CEEMAT-IEMVT), 2e éd., 1975 (épuisé)
- Essais de matériel agricole à traction animale (CEEMAT), 1967 (épuisé)
- Les pompes et les petites stations de pompage (SOGREAH), 2e éd., 1978
- Manuel de motorisation des cultures tropicales (CEEMAT), 1977. – 2 vol. (épuisé) : 1. Matériel et méthodes ; 2. Principales cultures tropicales
- La construction des puits en Afrique tropicale et l'investissement humain (BURGEAP), 2e éd. 1981, 3e éd. 1991
- Maintenance du matériel agricole (CEEMAT), 1985
- Mémento de l'adjoint technique des Travaux Ruraux (BDPA), 1977.
- Conservation des grains en régions chaudes (CEEMAT), (2e éd.), 1988
- Gestion du matériel dans les projets de développement rural, 1988

ACHART, J. ; MOULINARD, R. ; PAILLOU, G. – Tracteurs et machines agricoles. Traité élémentaire de mécanique agricole. – Périgueux : Pierre Fanlac, 1970. (La vie rurale moderne) (épuisé)

BANQUE MONDIALE. Washington. – La mécanisation agricole : problèmes et options. – Washington : Banque Mondiale, 1988

BARTHELEMY, P. ; BOISGONTIER, D. ; LAJOUX, P. – Choisir les outils de travail du sol. – Paris : ITCF, 1987

CANDELON, P. – Les machines agricoles. – 2e éd. – Paris : Baillière, 1978-1981. – 2 vol. – (Collection agricole)

CEEMAT. – Aide-mémoire du moniteur de culture attelée. – 2e éd. – Antony : CEEMAT, 1976. – 2 vol.

CEEMAT. – Aide-mémoire pour l'utilisation des motoculteurs dans la zone intertropicale. – Antony : CEEMAT, 1976

CEEMAT. – Machinisme agricole tropical (revue fin de parution 1989)

CNEEMA. – J'entretiens les mécanismes de mes matériels agricoles. – Antony : CNEEMA, 1972

CNEEMA. – Fonctionnement et entretien du moteur diesel. – Antony : CNEEMA, 1985

CNEEMA. – Tracteurs et machines agricoles. Livre du maître. – Antony : CNEEMA, 1978-1981. – 4 vol.
1. Moteurs et tracteurs agricoles (5e éd.) ; 2. Principales machines agricoles de culture et de récolte (2e éd.) ; 3. Autres matériels et problèmes économiques (2e éd.) ; 4. Réglage et entretien des machines agricoles

DUCHENNE, T. – Le point sur les harnais pour la traction animale. – Paris : GRET, GRDR, 1984. – (Les dossiers «Le point sur», n° 5)

FAO. – Méthodes et machines pour la préparation du sol et des semis dans les zones semi-arides. – Rome : Siège, 1972. (Collection FAO. Progrès et mise en valeur. Agriculture, n° 92) (épuisé)

FRANCOIS, M. ; BRICAS, N. – Du grain à la farine : le décorticage et la mouture des céréales en Afrique de l'Ouest. Paris ; Wageningen : Min. coop. ; CTA, 1988

GIL, L. – Le matériel horticole. – 2e éd. – Paris : J.B. Baillière, 1968. – (Les manuels professionnels horticoles) (épuisé)
GROOS, A. – Aide-mémoire pour l'utilisation des motoculteurs dans la zone intertropicale. – (In : Machinisme Agricole tropical, 1975 (51) : 3-45 ; (52) : 3-35, 1976 (53) : 3-43)
HOPFEN, H.J. – L'outillage agricole pour les régions arides et tropicales. – Ed. révisée. – Rome : FAO, 1970. (Collection FAO. Progrès et mise en valeur, n° 91) (épuisé)
JACQUINOT, M. – Les mini-laiteries. – Paris : GRET, 1986
JOUANNEAULT, R. – Le moteur à essence. – Paris : PUF, 1973. – 2 vol. – (Techniques vivantes)
1. : Fonctionnement. Principaux réglages
2. : Initiation à la technologie. Entretien et réparation.
JOHN DEERE, C. – Notions techniques de base. – Heidelberg : John Deere, 1968. – 3 vol. –
1. Systèmes électriques ; 2. Moteurs ; 3. Transmissions
LAFFONT, J.M. – Pulvérisation et pulvérisateurs. – Paris : Agrinathan, 1984. – (Encyclopédie agricole pratique)
MUNZINGER, P. – La traction animale en Afrique. – Eschborn ; GTZ, 1982
NOLLE, J. – Machines modernes à traction animale. Itinéraire pour inventeur au service des petits paysans. – Paris : L'Harmattan, 1986
Protection contre la corrosion. – Paris : PUF, 1973-1976. – 3 vol. – (Coll. ACCT – Techniques vivantes - section mécanique)
1. ... par revêtements organiques
2. ... par revêtements électrolytiques
3. ... par métallisation
ROUMENS, F. ; CAVANA, J.-F. – Gestion de matériel. – 1988 (cf. Coll. T.R.)
STEINMETZ, H. – Machines et outils agricoles : dictionnaire illustré polyglotte. – 3e éd. – Betzdorf/Sieg : H. Steinmetz, 1976
VAUCHELET, R. – Le bœuf de trait en culture attelée. – Paris : BDPA, ed. FORHOM, 1985
VITLOX, O. ; OESTGES, O. – Détermination graphique du coût d'utilisation du matériel de culture. – Gembloux : CEMAG, s.d

CHAPITRE 12 - **CONSTRUCTION**

Publications du Ministère de la Coopération :
- Manuel de construction des bâtiments pour l'élevage en zone tropicale (IEMVT), 1985. – (Coll. Précis d'élevage).
- Manuel d'exécution de petits ouvrages routiers en Afrique. (BCEOM), 1991
- Manuel d'urbanisme en pays tropical (6 vol.) (SMUH/ACA), 1975-1985
- Mémento de l'adjoint technique des travaux ruraux (Techniques rurales en Afrique) (BDPA), 1977
- Marchés de la viande, Etals de boucherie (SETIF-IEMVT), 1972

Collection Technologies et Développement :
- La chaux : sa production et son utilisation dans l'habitat (GRET), 1981
- Le plâtre : sa production et son utilisation dans l'habitat (GRET), 1982
- La pierre : habitat et environnement dans les pays en développement (GRET), 1984
- Toitures en zones tropicales arides (GRET), 1985

ALIX, G. – Le conditionnement bioclimatique et l'économie dans les locaux d'élevage. (In : Etudes du CNEEMA, 1976, (414) : 66 p., (416-417) : 99 p., (419-420) : 112 p., 1977, (425-426) : 87 p.)

ANDRIAMANPANDRY, A. ; RANDRIAMANONJY, M. D. – Amélioration de l'habitat rural. – Tananarive : BDPA, 1973. – (Collège agricole féminin, Tananarive, n° 1) (épuisé)
APPERT, J. – Le stockage des produits vivriers et semenciers. – Paris : ACCT, Maisonneuve et Larose, 1985. – 2 vol.
1. : Dégâts pertes et moyens de stockage
2. : Lutte contre les ravageurs. Hygiène du stockage
Bâtiments (les) d'élevage. – (In : Bulletin technique d'information, 1974 (293) n° sp. : 607-779)
BCEOM. – La construction en béton de terre. – Paris, 1952 (épuisé)
COOPER, CEB. – L'entreposage frigorifique. Principes et fonctionnement. Quelques suggestions pratiques. – Rome : FAO, 1973 (Bulletin des Services Agricoles, 19)
JUDET de LA COMBE, A. – Le condionnement de l'air. Procédés et calculs utilisés en climatisation. – 3e éd. – Paris : J.B. Baillière, 1974 (Encyclopédie du Froid)

DEUXIÈME PARTIE : AGRICULTURE SPÉCIALE

CHAPITRE 15 - CULTURES SPÉCIALES

BUSSON F. – Plantes alimentaires de l'Ouest africain. Étude botanique, biologique et chimique. Marseille : Imprimerie Leconte, 1965. – (épuisé).
CAPUS G. – Les produits coloniaux d'origine végétale. – Paris : Larose, 1930. – (Les Manuels coloniaux).
CERIGHELLI R. – Cultures tropicales. 1 : Plantes vivrières. – Paris : J.B. Baillières et Fils, 1955. (Nouvelle encyclopédie agricole) (épuisé).
FAO, Rome. – Crop calendars = Calendriers culturaux = Calendarios culturales. – Rome : FAO, 1978. – (Production végétale et protection des plantes ; 12).
FAO, Rome. – Systèmes de production améliorés susceptibles de remplacer l'agriculture itinérante. - Rome : FAO, 1987.
GAUDY M. – Manuel d'Agriculture tropicale (Afrique tropicale et équatoriale). – 2e éd. – Paris : La Maison Rustique, 1965.
GOLDSWORTHY P.R. ; FISHER (M.M.). – The Physiology of tropical field crops. – Chichester : John Wiley and sons, 1984.
GRAF A.B. – Exotica. Pictorial Encyclopedia of exotic plants from tropical and near-tropic regions. Guide to care of plants indoors. Horticultural color guide plant geography. – E. Rutherford N.J., Roehrs Company Inc., 1973.
GRET. – Cultures associées en milieu tropical : éléments d'observation et d'analyse. – Paris : Ministère Coopération, 1982. – (Technologie et développement).
GRISVARD P. ; CHAUDUN V. dir. – Le bon jardinier : Encyclopédie horticole. 152e éd. – Paris : La Maison Rustique, 1977. – 2 vol : 1. - Horticulture générale ; 2. – Index général.
HARLAN J.R. – Les Plantes cultivées et l'homme. - Paris : PUF, ACCT, CILF, 1987.
HELLER R. – Physiologie végétale. - 1. Nutrition. 2. Développement. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1985. – (épuisé).
Institut international du froid. – Stations de conditionnement et d'entreposage de fruits et légumes. – Paris : Institut International du froid, 1973. – (épuisé).
International symposium on ecophysiology of tropical CROPS, 1975. Manaus. Ecophysiology of tropical crops. Itabuna, CEPLAC, 1975. – 2 vol. (épuisé).
IRAT. – Intensification de l'agriculture pluviale : relations entre la plante, le sol et l'eau. – Paris : IRAT, 1987.

LEAKEY C.L.A., WILLS J.B. éd. – Food crops of the lowland tropics. – Oxford : Oxford University Press, 1977.
LESAINT C. ; COIC Y. – Cultures hydroponiques. – Paris : Maison Rustique, 1983.
MERLIER H. ; MONTEGUT J. – Adventices tropicales ORSTOM-GERDAT ENSH, 1982.
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. – Under exploited tropical plants with promising economic value. – Washington : National Academy of Sciences, 1975.
OCDE. – La normalisation internationale des Fruits et Légumes. – Paris : OCDE, 13 vol.
PURSEGLOVE J.W. – Tropical Crops. Dicotyledons. – London : Longman, 1968, 2 vol.
PURSEGLOVE J.W. – Tropical Crops. Monocotyledons. – London : Longman, 1972, 2 vol.
STEINER K. – Cultures associées dans les petites exploitations agricoles en particulier en Afrique de l'Ouest. Intercropping in tropical small holder agriculture with special reference to West Africa. – Eschborn : GTZ, 1984. – (épuisé).
SANTENS P. – Cours d'agriculture spéciale : 1re année : cycle agent technique : spécialité production agricole. – Kolo : IPDR, 1986.
SYMPOSIUM SUR LE DESHERBAGE DES CULTURES TROPICALES, 2. 1974. – Montpellier : Comptes rendus. – Bâle : CIBA-GEIGY, 1974.
TOUTAIN G. – Éléments d'agronomie saharienne. De la recherche au développement. – Paris : Institut National de la Recherche Agronomique, 1977. –(épuisé).
TROPICAL AND SUB TROPICAL AGRICULTURE. – New York : The Macmillan company, 1971, 2 vol.
VANDEPUT R. – Les principales cultures en Afrique Centrale. – Bruxelles, Administration Centrale de la Coopération du développement, 1981. – (épuisé).
VANDERDRIESSCHE H. – L'Industrie de transformation des fruits tropicaux. Etudes de cas de cette industrie dans les pays en voie de développement. – Paris : OCDE. Centre de Développement, 1976.
WESTPHAL et al. – Cultures vivrières tropicales avec référence spéciale au Cameroun. Wageningen : PUDOC, 1985.
WILLIAMS C.N. – The Agronomy of the major tropical crops. – Kuala Lumpur/London, Oxford University Press, 1975.

PLANTES AMYLACÉES

Ouvrages généraux :

ADAMS J.M. – A review of the literature concerning losses in stored cereales and pulses, published since 1964. – (In : Tropical Science, 1977, 19 (1) : 1-28, bibliogr.).
BAUDET J.C. – Les Céréales secondaires. Bibliographie analytique. - Paris : ACCT, 1981.
CASSAGNES P. – Désherbage des principales cultures. (In : Purpan, 1977, (103) : 73-142, bibliogr.).
ICRISAT. – International work-shoop on grain legumes. 13-16 juanary 1975. – Hyderabad, ICRISAT, 1975. – Bibliogr.
ICRISAT. – Rapports annuels. – Hyderabad, ICRISAT.
IITA – Root, tuber and vegetable improvment program. Report. – Ibadan, IITA, 1973.
IITA – Rapport annuels. – Ibadan, IITA.
INSTITUT INTERNATIONAL DE LA POTASSE. – Colloque. 11. 1975. Ronne-Bornholm (Danemark). Fertilizer use and protein production. – Berne : International Potash Institute, 1975. Bibliogr.
INTERNATIONAL SYMPOSIUM on tropical root and tuber crops (2). Honolulu, Hawaï, 23-30 août 1970, 2 vol. 1. Tropical root and tuber crops to-morrow.
IRAT/CIRAD – Fiches techniques sur les ravageurs des cultures vivrières tropicales, collections 1985, 1986, 1987, 1988 : CIRAD.

KAY D.E. – Root crops. – London : TPI, 1973. – (T.P.I. Crop and product digest 2).
MESSIAEN Ch. M. – Le potager tropical : Paris, PUF, 1974-75. – 3 vol., Bibliogr. – (Techniques vivantes, Section Agronomie Tropicale).
ONWUEME I.C. – The Tropical tuber crops. Yams, Cassava, Sweet potata and Cocoyams. – Chichester ; New York : John Wiley and Sons, 1978.– (épuisé).
SOLTNER D. – Les grandes productions végétales. Céréales, plantes sarclées, prairie. – 13e éd. – Sainte-Gemme-sur-Loire : Sciences et Techniques agricoles, 1983.
SYMPOSIUM ON INTERCROPPING in SEMI-ARID AREAS. – Symposium organisé du 10-12 mai 1976 à Morogoro (Tanzanie) par l'Université de Dar-es-Salam et par le C.I.D.R.). 26 fasc. Bibliogr.
TERRY E.R. ; ODURO K.A. ; CAVANESS F. – Plantes-racines tropicales : stratégies de recherche pour les années 1980. – Ottawa : CRDI, 1982.

ARROW-ROOT

ACHIRA. – Su cultivo y aprovechamiento. – Bogota : Instituto de Investigaciones Tecnologicas, 1969.
SZABUNIEWICZ M. – Notes sur quelques cultures fourragères au Katanga dans la région de Jadotville, Kolwezi et des Biano : Canna fourrager (Canna edulis). – (Bulletin agricole Congo Belge, 1953, 44 (3) : p. 604-612).

IGNAME

DEGRAS L. – L'igname : plante à tubercule tropicale : Paris. – Maisonneuve et Larose, ACCT. 1986. – (In : Techniques agricoles et productions tropicale ; p.36).
DUMONT C. ; RENAULT G. ; VANDEVENNE R. – Intégration de la culture de l'igname dans un système de culture modernisé. (In : Agronomie Tropicale, XXVIII, 1973, p. 592).
INRA. – L'igname. Séminaire international. Pointe-à-Pitre, 28 juillet-2 août 1980. – Versailles : INRA, 1981. – (épuisé).
THOUVENEL J.C. – et FAUQUET C. – Une mosaïque de l'igname causée par un virus filamenteux en Côte d'Ivoire, (C.R. Acad. Sc. 1977 Paris, 284, 1947-1949).

MAIS

APPERT J. – Les insectes nuisibles au maïs en Afrique et à Madagascar. – (In : L'Agronomie tropicale, 1971, n° 4 : 176-199).
GALLAIS A. (coord.). – Physiologie du maïs : communications au colloque physiologie du maïs organisé par l'INRA, le CNRS et l'AGPM : 15-17 mars 1983. – Paris : INRA, 1984.
FAO. – Improvement and production of maïze, sorghum and millet. – Rome, FAO, 1980. – 2 vol. – (FAO plant production and protection paper ; 24).
IRAT. – L'IRAT et le maïs. – (In : L'Agronomie Tropicale, 1977, XXXII, 2, p. 208-212, bibliogr.)
L'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale (In : L'Agronomie Tropicale, 1976, 31 (3) : 260-297).
Le Mais sous toutes ses faces. (In : L'Élevage, 1973 (hors série) ; 242).
RAUTOU S. – Amélioration du maïs et vairabilité génétique : (In : L'Agronomie Tropicale, 1977, XXXII, 2, p. 148-157).
ROUANET G. – Le Maïs. – Paris : Maisonneuve et Larose, ACCT, 1984.

MANIOC

CIAT : 2 000 abstracts on cassava (Manihot esculenta Crantz) I, 1975.
CIAT : Abstracts on cassava (Manihot esculenta Crantz) II, 1976, III, 1977.
COCK J.H. – Cassava : New potential for a Meclected Crop Boulder : Westiew Press, 1985.

CRDI. – Cassava processing and storage. Proceedings of an interdisciplinary workshop. – Pakaya, Thaïland, 17-19 april 1974. – Ottawa : CRDI, 1974, Bibliogr. (IDRC Monographs. 031 e).
FAUQUET C. – La mosaïque africaine du manioc et son contrôle. – Montpellier : IRAT, 1987.
GRACE M.R. – Traitement du manioc. – 3e éd. Rome : FAO, 1978. Bibliogr. – (Production végétale et protection des plantes ; 3).
IITA. – Proceedings cassava mosaic work-shop. – Ibadan, Siège, 1972.
MANIOC (le). – (Fiches techniques). (In : Cahiers d'Agriculture Pratique des Pays chauds, 1969, n° 4 : 177-184).
SILVESTRE P. ; ARRAUDEAU M. – Le Manioc. – Paris : Maisonneuve et Larose, ACCT, 1983.
SILVESTRE P. – Manuel pratique de la culture du manioc. – Paris : Wageningen : ACCT, CTA, 1987.

MIL

BONO M. – Contribution à la morpho-systématique des Pennisetum annuels cultivés pour leur grain en Afrique occidentale francophone (In : L'Agronomie Tropicale, 1973, XXXVIII, p. 229-355).
CHANTEREAU J. ; ETASSE C. – Création de populations naines de mil Penniselum (Pennisetum typhoïdes Stapf.) au Niger. – (In : L'Agronomie Tropicale, 1976, XXXI, p. 254).
IRAT. – Variétés de mil proposées par l'IRAT au Niger (In : L'Agronomie Tropicale, 1977, XXXII, p. 207).

PATATE DOUCE

AUSTIN M.E. ; GRAVES B.– Mechanical harvesting of sweet potatoes.
AUSTIN M.E. – Various methods of harvesting sweet potatoes.
BELLE J.B. ; AUSTIN M.E. – Evaluation of hand mechanical harvest of sweet potatoes. (In : International Symposium on tropical root and tuber crops (2). Honolulu, Hawaï, 23-30 août 1970. Tropical root and tuber crops to-morrow, vol. 1).
EDMOND J.E. ; AMMERMAN G.R. – Sweet potatoes : production processing, marketing. Major feed and food crops in agricultural series. Westford (Connecticut). The Avi Publishing Company, 1951.
MONTALDO A. – Manual de cultivo de la patata. – Maracay : Facultad de Agronomia, 1966.

POMME DE TERRE

DUMONT R. – Synthèse des résultats obtenus par l'expérimentation conduite sur les cultures maraîchères dans la province du Borgou. – SI : IRAT Nord Bénin, 1976.
SOLTNER D. – In : La biologie de la pomme de terre et la sélection des plantes. Les grandes productions végétales. – 13e éd. – Sainte-Gemme-sur-Loire : Sciences et techniques agricoles, 1983, p. 237-274.
UPADHYA M. ; PURDHIT A.N. ; SHARDA R.T. – Breeding potatoes for sub-tropical areas and tropical areas. (In : World crops, 1972, n° 6 : p. 314-316).

RIZ

ADRAO. – Sélection et amélioration variétale du riz. Séminaire Monrovia Janvier 1973. – Monrovia : ADRAO, 1976. – Bibliogr.
ANGLADETTE A. – Le Riz. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1966. – (Techniques agricoles et productions tropicales, n° 5-6-7)
DOBELMANN J.P. – Riziculture pratique. Paris : ACCT, CILF. – 1981. – 2 vol. 1 Riz irrigué, 2 Riz pluvial. (Techniques vivantes, Section Agronomie Tropicale).

GRIST D.H. – Rice. – 5e éd. – Londres : Longman, 1983.
GRUMMER G. – Rice. Irrigation-Préparation of land. Cultivation and after-cultivation. Weed control. Manuring and Fertilising. Plant Protection. Chemical composition. Processing and use. By products. – Sl ; éd. Leipzig, 1970 (Technical fundamentals).
IITA/FAO. – Report on the expert consultation meeting on the mechanization of rice production. Ibadan 10-14 Juin 1974. – Ibadan/Rome : IITA/FAO, 1974.
IRRI. – Annual report... Laguna : Siège...
IRRI. – Rice breeding. – Los Baños : Siège, 1972.
IRRI. – Rice machinery development and mechanization research. – Manila : IRRI, 1975. – 2 vol.
JACQUOT M. ; COURTOIS B. – Le Riz pluvial. – Paris : Maisonneuve et Larose, ACCT, 1983.
MOREAU A. – Analyse de l'élaboration de rendement du riz. – Paris : GRET, 1987.
POLLET A – Les insectes ravageurs du riz en Côte d'Ivoire, La faune rencontrée sur riz irrigué en Côte-d'Ivoire Centrale. – (In : Cahiers ORSTOM, séri. Biol. 1977, XII, 1 : p. 3-23).

SORGHOS

ABENG NDGANG M. – Les Sorghos. – Yaoundé : DPR de l'ENSA, 1975. – Bibliogr.
ARNOUD J.P. ; MICHE J.C. – Informations économiques. Aperçu sur l'économie et l'utilisation des sorghos dans le monde (In : L'Agronomie Tropicale, 1971, n° 8 : 865-887).
ARRIVETS J. – Exigences minérales du sorgho. Étude d'une variété voltaïque à grande tige. (In : L'Agronomie Tropicale, 1976, 31 (1) : p. 27-46).
BURGOS L.W. ; GANRY F. ; NICOU R. ; CHOPART J.L. ; DOMMERGUES Y. – Un cas de fatique des sols induite par la culture du sorgho. – (In : L'Agronomie Tropicale, 1980, 35 (4) : p. 319-334).
CHANTEREAU J. – Sélection d'hybrides de sorgho pour le centre nord et le nord du Sénégal. (In : L'Agronomie Tropicale, 1983, 38 (4) : p. 395-302.
DENDY D.A.V. éd. – Proceedings of a symposium on sorghum and millets for human food. Held ... in Vienne 11-12 th May 1976. – London : Tropical Products Institute, 1977. – Bibliogr.
FAO. – Improvement and producton of maize, sorghum and millets. – Rome : FAO, 1972.
HOUSE L.R. – Manuel pour la sélection du sorgho. – Patancheru : ICRISAT, 1987.
IRAT. – L'IRAT et l'amélioration du sorgho. Présentation des travaux. – (In : L'Agronomie Tropicale, 1977, XXXII, p. 279 avec bibliographie).
NICOU R., OUATTARA B., SOME L. – Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières (sorgho, maïs, mil) au Burkina-Faso : INERA, 1987.
OLLITRAULT P. – Évaluation génétique des sorghos cultivés (Sorghum bicolor L. Moench) par l'analyse conjointe des diversités enzymatique et morphophysiologique. Relations avec les sorghos sauvages. – Thèse de Docteur en Sciences. – Université Paris XI, Sciences de la vie, 1987.
OUA/STRC. – Conférence sur la production de céréales en Afrique. Zaria (Nigeria), 13-16 octobre 1969. (In : Sols africians, 1970, N° 1-2-3 : 754 p.).
VANDEVENNE R. ; BONO M. – Production et contrôle des semences de sorgho en zone tropicale. – Paris : IRAT, 1987. – (Mémoires et travaux de l'IRAT, N° 14).
WALL J.S. ; ROSS W.M. – Sorghum production and utilization. Westport Connecticut AVI Publishing Company, 1970.
WILLIAM R.J. ; FREDERIKSEN R.A. ; GIRARD J.C. – Manuel d'identification des

maladies du sorgho et mil. – Hyderabad : ICRISAT, 1978. – (Bulletin d'information n° 2).

TARO

CATHERINET N. – Note sur la culture du macabo et du taro au Cameroun. – (In : L'Agronomie Tropicale, 1965, n° 8 : p. 717-724).
KARIKARI S.K. – Cocoyam cultivation in Ghana. – (In : World crops, 1971, n° 3 : p. 118-122).
WANG J.K. – Taro : A review of colocasta esculenta and its potentials : Honolulu : University of Hawaï Press, 1983.

PLANTES A CAOUTCHOUC

Ouvrages généraux :

Revue générale du caoutchouc et des plastiques.
Rapports annuels et semestriels de IRCA (Institut de Recherches sur le caoutchouc).

HÉVÉA

BELLIS E. – Évolution dans les pratiques de fertilisation sur les plantations d'hévéas brasiliensis. (In : Fertilité, 1971 (38) : 29-43).
BOUYCHOU J.G. – Manuel du planteur d'hévéa. Paris : IFC, 1962.
1. La Saignée de l'hévéa.
2. La Biologie de l'hévéa.
3. Plantation et entretien.
COMBE J.-CI., NICOLAS D., PLESSIX C. du. – Une nouvelle approche de l'amélioration génétique de l'hévéa (1974) communicaton IRCA.
COMPAGNON P. – Le caoutchouc naturel : biologie culture production. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1986.
DIJKMAN. – Thirty years of research in the far east (1951).
FAO. – Bibliography on hevea. – FAO, s.d. – (FAO documents).
GENER P. – Croissance et homogénéité des hévéas greffés avec certaines techniques de préparation du matériel végétal. International Rubber Conference, Sri-Lanka (1976).
GENER P. et PLESSIX C.J. du. – « Vers une exploitation rationnelle de l'hévéa par l'action combinée de la stimulation et du système de saignée » International Rubber Conference, Kuala-Lumpur Malaisie (1975).
LE BRAS J. – Le Caoutchouc. 6e éd. – Paris : PUF, 1970 (Que sais-je ? n° 136).
ROUXEL R. ; GENER P. – Le désherbage chimique en hévéaculture 3e symposium sur le désherbage des cultures tropicales. Dakar (1978).

PLANTES A ÉPICES

Ouvrages généraux :

COLLURA A.M., STORTI N. – Manual para el cultivo de plantas aromática. – Buenos-Aires : INTA, 1971. – (Collection Agropecuaria, 18).
MAISTRE J. – Les plantes à épices. – Paris : G.P. Maisonneuve et Larose, 1964, (Techniques agricoles et productions tropicales, n° 3) (épuisé).
PARRY J.W. – Spices. London, Food Trade Press Ltd, 1969.
1. : The story of spices, the spices described.
2. : Morphologie. Histology. Chemistry.
RICHARD H. – Quelques épices et aromates et leurs huiles essentielles. – Massy : CDIUPA, 1974. – (Synthèses bibliographiques n° 2).

TROPICAL PRODUCTS INSTITUTE. – Proceedings of the Conference on Spices held in London, 10 th-14 th April 1972. – TPI London, 1973.

CANNELIER

CANNELLES (Les). – In : Cahiers d'Agriculture Pratique des Pays chauds : 1963 (3) : p. 151-154 ; 1968 (4) : p. 211-213.

GINGEMBRE

GINGEMBRE (Le). – In : Cahiers d'Agriculture Pratique des Pays chauds : 1969 (1) : p. 47-50 ; 1969 (2) : p. 101-103 ; 1969 (3) : p. 147-151 ; 1969 (4) : p. 199-201.

GIROFLE

DUFOURNET R. ; RODRIGUEZ H. – Travaux pour l'amélioration de la production du giroflier sur la côte orientale de Madagascar. (In : L'Agronomie Tropicale, 1972, 27 (5) : p. 633-638).

GIROFLIER (Le). – In : Cahiers d'Agriculture Pratique des Pays chauds : 1967 (2) : p. 93-96 ; 1967 (3) : p. 147-151 ; 1967 (4) : p. 219-222.

RAMALANJAONA G. ; JOURDAN E. – L'essence de girofle de Madagascar. Technologie. Distillation. Emballage (In : L'Agronomie Tropicale, 1962, 17 (12) : p. 1053-1083).

POIVRIER

GRIMALDI J. ; SADOUX F.L. – Le Poivrier au Cameroun. (In : Chambres Agric. du Cameroun 1961 (48) : p. 25-31).

HARPER R.S. – Pepper in Indonesia. Cultivation and major diseases. (In : World Crops, 1974, 26 (3) : p. 130-133, tabl., photo, bibliogr.).

LARCHER J. – La Culture du poivrier. (In : Cahiers d'Agriculture Pratique des Pays chauds, 1970 (3) : p. 125-144 – (4) : p. 193-214).

SADOUX F.L. – Le Poivrier. – Nkolbisson : Centre de recherches agronomiques, 1962.

PLANTES A FRUITS

Ouvrages généraux :

BRETAUDEAU J. – Atlas d'arboriculture fruitière. – 2e éd. Paris : Baillière, 1978-1981. – 4 vol.

DUPRIEZ H. ; DE LEENER P. – Jardins et vergers d'Afrique. – Paris : Nivelles : L'Harmattan ; Terres et vie, 1987.

FAO ; SIDA. – Espèces fruitières forestières. – Rome : FAO, 1982.

FOUQUÉ A. – Espèces fruitières d'Amérique tropicale. – Paris : Institut français de Recherches fruitières Outre-mer, 1975. – (épuisé).

JOURNÉES FRUITIÈRES D'AVIGNON-MONTFAVET. 1. 1976 Montfavet. Méthodes et techniques pour la protection du verger. – Paris : INVUFLEC, 1977.

LAVILLE E. – Les Altérations et la maladie fongicide d'entreposage des agrumes et de divers fruits tropicaux. – Paris : IFAC, 1969 .– (épuisé).

LEROY J.-F. – Les Fruits tropicaux et sub-tropicaux. – Paris : PUF, 1968. – (Que sais-je ?, n° 237) (épuisé).

REBOUR H. – Les Fruits méditerranéens autres que les agrumes. – Paris : La Maison Rustique, 1968. – (épuisé).

SAMSON J.A. – Tropical fruits. – Londres : Longman, 1980.

A consulter également la revue :
FRUITS publiée par l'IRFA.

PRINCIPALES PLANTES A FRUITS

AGRUMES

LEFEVRE F.C. – Ennemis et maladies des agrumes.
I. Maladies et virus
II. Insectes et acariens
III. Nématodes
IV. Champignons
(In : Fruits, 1966, 21 (10) : p. 564-567 ; 1967, 22 (1) : p. 37-41 (3) : p. 157-161)

LOUSSERT R. – Les Agrumes. – Paris : Baillière, 1985.

PRALORAN J.C. – Les Agrumes. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1971.– (Techniques agricoles et productions tropicales, n° 21-22).

RAVEL D'ESCLAPON G. de. – Les Agrumes : oranges, mandarines, clémentines, pamplemousses, citrons, etc. Comment les planter, les cultiver, les soigner. – Paris : Solar, 1984.

REBOUR H. – Les Agrumes. – 5e éd. Paris : Baillière, 1966. – (Bibliothèque l'horticulture pratique) (épuisé).

AMANDIER

GRASSELY C. ; CROSSA-RAYNAUD P. – L'amandier. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1980. – (Techniques agricoles et productions méditerranéennes ; 2).

ANACARDIER

IRFA-CTFT. – Étude de l'utilisation et des possibilités de développement de l'anarcadier dans les pays francophones de l'Afrique de l'Ouest. – Siège, 1970. – 4 fasc. : Économie - Agronomie - Industrie - Note de synthèse.

LEFEBVRE A. – Synthèse des travaux de recherches sur l'anarcadier et autres espèces fruitières à la station de Majunga (IFAC), Madagascar, de 1962 à 1973. (In Fruits, 1973, 28 (7.8) : p. 535-544).

WILSON R.J. – The market for cashewnut Kernels and cashewnut shell liquid. – London : Tropical Products Institute, 1975. – (Report n° G 91).

ANANAS

BOHER B. – La pourriture du cœur de l'ananas. Étude de l'infection par le Phytophtora nicotianae var. parasitica et le P. palmivora. (In : Fruits, 1976, 31, 6 : p. 365-371).

BRICE R. – L'ananas. – Yaoundé : ENSA, 1974.

PY C. ; LACŒUILHE J.J. ; TEISSON C. – L'Ananas, sa culture, ses produits. – Paris : Maisonneuve et Larose : ACCT, 1984. – (Techniques agricoles et productions).

PY C. – Les Recherches sur l'ananas à l'Institut de Recherches sur les Fruits et Agrumes. (In : Fruits, 1987, 42 (11) : p. 619-688).

AVOCATIER

BLOMMERS L ; GUTIERREZ J. – Les tétranyques vivant sur agrumes et avocatiers dans la région de Tamatave (Madagascar est) et quelques-uns de leurs prédateurs (In : Fruits, 1975, 30, 3, p. 191-200).

BRICE R. – L'Avocatier, Yaoundé, ENSA, 1972.

GAILLARD J.P. – L'Avocatier, sa culture, ses produits. – Paris : ACCT, Maisonneuve et Larose, 1987.

WATHELET R. – La Reproduction végétative de l'avocatier. (In : Bulletin agricole du Rwanda. 1975 (3) : p. 154-157).

BANANIER

CHAMPION J. – Le Bananier. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1963. – (Techniques agricoles et productions tropicales, n° 1).

FEAKIN S.D. – Pest control in bananas. – London : Centre for Overseas Pest Research, 1972. – (Pans, manual n° 1).

IRFA. – Les Études sur bananiers réalisées par l'Institut de Recherches sur les fruits et agrumes (1972-1975). Réunion annuelle 1975. – (In : Fruits, 1976, 31 (4-5) : p. 227-344).

TEZENAS DU MONTCEL H. – Le Bananier plantain. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1985. – (Le Technicien d'Agriculture Tropicale ; 3).

GOYAVIER

EL BARADI T.A. – Guava (In : Abstracts on tropical agriculture, 1975, (3) : p. 9-16).

LE BOURDELLES J. ; ESTANOVE R. – La Goyave aux Antilles. (In : Fruits, 1967, 22 (9) : p. 397-412).

KIWI

BLANCHEP P. – Fertilité et croissance du kiwi (Actinidia chimensis PL) (In : Fruits, 1985, 10 : p. 447-658).

YOUSSEF J., BERGAMINI A. – L'Actinidia (Kiwi - Yang Tao) : sa culture. – Paris : Maison Rustique, 1981.

LITCHI

PYNAERT L. – Les litchis et espèces voisines. – Bruxelles : Direction de l'Agriculture, 1955 (épuisé).

MANGOUSTANIER

BOURDEAUT J. ; MOREUIL C. – Le Mangoustanier, ses possibilités de culture en Côte d'Ivoire et à Madagascar. (In : Fruits, 1970, 25, (4) : p. 223-245).

PYNAERT L. – Le Mangoustanier. – Bruxelles : Direction de l'Agriculture, s.d. (épuisé).

MANGUIER

AUBERT B. – Possibilités de production de mangues greffées à la Réunion. (In Fruits. 1975, 30 (7-8) : 447-479).

BUTANI D. – Parasites et maladies du manguier en Inde. (In : Fruits. 1975, 30 (2) : p. 91-101, bibliogr. 3 p.).

LAROUSSILHE F. de. – Le Manguier. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1980. – (Techniques agricoles et productions tropicales).

SINGH L. B. – The Mango. Botany, cultivation and utilization. – London : Léonard Hill, 1968. (World Crops series). (épuisé).

TPI. – The Mango (Mangifera indica L.). Harvesting and subsequent handling and processing : an annotated bibliography. – London : Tropical Products Institute, 1976.

PALMIER DATTIER

DOLLÉ V. – L'agriculutre oasienne : association judicieuse élevage-culture irriguée sous palmiers dattiers pour valoriser l'eau, ressource rare. – (In : les Cahiers de la Recherche-Développement, 1986, n° 9-10).

DOLLÉ V ; TOUTAIN G. – éd. Les systèmes agricoles oasiens. Actes du colloque de Tozeur (19-21 nov. 1988). – Paris : CIHEAM, CCE - DG VIII, 1990.

DRIRA N. ; BENBADIS A. – Multiplication végétative du palmier dattier (*Phœnix dactylifera L.*) par reversion, en culture in vitro, d'ébauches florales de pieds femelles. – (In : J. Plant, Physiol., 1985, vol. 119, p. 227-235).

DSA/CIRAD. – Éléments de diagnostic sur l'agriculture du sud tunisien. DSA/CIRAD, 1984-85.
DSA/CIRAD. – Dossier Agronomie Oasienne. – (In : Les Cahiers de la Recherche-Développement, 1989, n° 22).
Études sahariennes. Cahiers géographiques de Rouen, 1986, n° 26.
FERRY M. ; LOUVET J. ; LOUVET J.-M. ; MONTFORT S. ; TOUTAIN G. – Spécificité des recherches sur la multiplication in vitro et production du palmier dattier – Symposium on in vitro problem related to mass propagation of horticultural plants – Horticulturae, Number 212, sept. 1987.
MUNIER P. – Le palmier dattier. Techniques agricoles et productions tropicales. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1973.
POULAIN C. ; RHISS A. ; BEAUCHESNE G. – Multiplication végétative culture in vitro du palmier dattier (*Phœnix dactylifera L.*). – Acad. Agric., France, 65, 13, 1151-1154.
TISSERAT B. – Propagation of date palm (*Phœnix dactylifera*) in vitro. – (In : Journal of Experimental Botany, 1979, vol. 30, n° 119).
TOUTAIN G. – Le palmier dattier, culture et production. (In : Al-Awamia, 1967, n° 25, p. 83-151). – Rabat (Maroc).
TOUTAIN G. – Éléments d'agronomie oasienne. De la recherche au développement. – Paris : INRA-GRET, 1979.

PAPAYER

LASSOUDIERE A. – Le Papayer. Paris : IRFA, 1968-69. (In : Extraits de Fruits).

PASSIFLORE

DE WIJS J.J. – A virus causing ringsot of Passiflora edulis in the Ivory. Coast. – (In : Ann. appl. Biol., 1974, 77 : p. 33-40).
HAENDLER L. – La Passiflore, sa composition chimique et ses possibilités de transformation. (In : Fruits, 1965, 20 (5) : p. 235-245).

PLANTES INSECTICIDES

PYRÈTHRE

Un insecticide d'origine végétale produit au Zaïre : le pyrèthre. (In : Bulletin de liaison, République du Zaïre, Département de l'Agriculture, 1976 (8) : p. 23-31).
Le Pyrèthre : son innocuité le fait vendre. (In : Forum du Commerce International, 1977, XIII (2) : p. 15-18 et 37).
VAN RIJN J. – The Production of pyrethrum. (In : Tropical Abstracts, 1974, 29 (4) : p. 237-244).
WERE H.R. – Utilisation of pyrethrum waste product as a livestock feed. – (In : T.P.I. Animal feeds'74. – London : TPI, 1975, p. 174-150).

PLANTES LÉGUMIÈRES

ABBOTT J.C. – Commercialisation des fruits et légumes. – 2e éd. - Rome : FAO, 1971. – (FAO, Commercialisation, n° 2) (épuisé).
ACCT – Fichier du potager familial dans les îles de l'Océan Indien. – Paris : ACCT, 1983.
AGROMISA. Wageningen. – Le Jardin potager dans les tropiques. – Amsterdam : Tool, 1981.
ARONDEL DE HAYES J. ; HUEZ M. – Enseignements de 10 années d'études maraîchères à Farako-Ba (Haulte-Volta). – Nogent-sur-Marne : IRAT, 1972.
BLANCARD D. – Maladies et accidents culturaux de la tomate. – Paris : CTIFL, 1984.

BRY A. – Les Cultures maraîchères en régions méditerranéennes. – (In : Bulletin des recherches agronomiques de Gembloux, 1971, (n° hors-série) : p. 445-546).
CULTURES LÉGUMIÈRES de plein champ. (In : Bulletin technique d'information. 1976 (311) : p. 379-475, (312) : p. 479-568).
DALY P. en collaboration avec THONET J et SOITOUT M. – Obtention d'une nouvelle variété d'aubergine tolérante au Pseudomonas solanacearum. – (In : Agronomie Tropicale XXVIII, 1973, p. 23).
DALY P. – IRAT L3 : une nouvelle variété de tomate combinant plusieurs résistances aux maladies. (In : Agronomie Tropicale XXXI, 1976, p. 398).
DAVET P. – Les maladies solanées maraîchères en Tunisie. (Annales Inst. Nat. rech. Agro. Tunisie, 1967, 40, 3, 44 p).
DELARBRE H. – Le Petit Jardinier en Afrique. - Paris : Min. Coop., 1988.
GIVORD L. – Identification de souches du virus de la mosaïque du Gombo. (In : Ann. phytopathol., 1977, 9, (1) : p. 53-70).
GRUBBEN G. – L'Amarante et sa culture au Bénin (In : Agronomie Tropicale, 29 (1) : 1974, p. 97-100).
IRAT/CIRAD – Fiches techniques sur les ravageurs des cultures vivrières tropicales, collections 1985, 1986, 1987, 1988. – Montpellier : CIRAD.
HERKLOTS G.A.C. – Vegetables in South-Esat Asia. – Londres : Georges Allen Unwin Ltd., 1972.
LAUMONNIER R. – Cultures maraîchères. – 3e éd. – Paris : Baillière, 1978. – 3 vol. (Nouvelle Encyclopédie agricole).
MESSIAEN C.M. – Les variétés résistantes : méthodes de lutte contre les maladies et ennemis des plantes. – Paris, INRA, 1981.
MESSIAEN C.M. – Le Potager tropical. – Paris : PUF, 1974-75. – 3 vol. (Techniques vivantes, Section agronomie tropicale).
NABOS J. – L'amélioration de l'oignon (Allium cepa L.) au Niger. – (In : Agronomie Tropicale, 1976 (4), p. 387-397).
SPECIAL ISSUE : Horticulture. – (In : Span, 1972, (2) : 103 p.).
VAN EPENHUIJSEN C.W. – Growing native vegetables in Nigeria. - Rome : FAO, 1974. – (épuisé).
VILLAREAL R.L. – Tomatoes in the tropics. – Boulder (USA) : Westview Press, 1980.
WALLON A. – Les Cultures maraîchères en zone sahélienne. - Paris : Forhom BDPA, 1986.

NIÉBÉ

JACQUINOT L. – Croissance et alimentations minérales comparées de quatre variétés de Niébé (Vigna unguiculata Walpers). (In : Agronomie Tropicale, 1967, 22 (6-7) : p. 575-640).
SENE D. ; N'DIAYE S.M. – L'Amélioration du Niébé (Vigna unguiculata) au CNRA de Bambey de 1959 à 1969. – (In : Agronomie Tropicale, 1971, 26 (10) : p. 1031-1065, 1974 (8) : p. 772-802).
SYMPOSIUM ON INTERCROPPING IN SEMI-ARID AREAS. 1976 Moro-goro. Symposium organisé du 10 au 12 mai 1976 par le CIDR et l'Université de Dar-es-Salam. Bibliogr.
VARIÉTÉS (Les) de Niébé actuellement conseillées au Sénégal. (In : Cahiers d'agriculture pratique des pays chauds, 1971, (2) : p. 89-106).

PLANTES MÉDICINALES

Ouvrages généraux :

BOUQUET A., DEBRAY M. – Plantes médicinales de la Côte d'Ivoire. – Paris : ORSTOM, 1974. – Bibliogr. (Travaux et documents de l'ORSTOM n° 32).

KERHARO J., ADAM J.G. – La pharmacopée sénégalaise traditionnelle. Plantes médicinales et toxiques. – Paris : Vigot Frères, 1974.

RAGEAU J. – Les plantes médicinales de la Nouvelle-Calédonie. – Paris : ORSTOM 1973. – (Travaux et documents de l'ORSTOM, 23).

RAZAFINDRAMBAO R.S. – Étude d'une plante médicinale malgache « Buxus madagascarica Baill. » et ses variétés. – Paris : ORSTOM, 1973. – (Travaux et documents de l'ORSTOM n° 25).

QUINQUINA

DU PASQUIER R. – Travaux sur le quinquina antérieurement effectués par la France dans les pays d'Outre-Mer. (In : Agronomie Tropicale, 1966, 21 (11) : p. 1291-1304).

SYNSEPALUM DULCIFICUM

MONTAGUT G. – Essai de culture de Synsepalum dulcificum au Dahomey. (In : Fruits 1972, 27, (3) ; p. 219-221).

PLANTES OLÉIFÈRES

Ouvrages généraux :

ADAM J. – Les plantes à matières grasses. – Paris, Société d'Éditions géographiques maritimes et coloniales, 1941-1953. – 4 vol. (Encyclopédie d'agriculture tropicale).
1. Généralités
2. Le Cocotier – Le Palmier à huile
3. L'Arachide
4. Le Ricin – La Pourghère.

(épuisés)

ARNON I. – Crop production in dry regions. vol. 2 Systematic treatment of the principal crops. – London : Leonard Hill, 1972. – (A plant science monography) (épuisé).

GODIN V.J., SPENSLEY P.C. – Oils and oilseeds. – Londres : Tropical Products Institute, 1971. – (TPI Crop and Product Digest, n° 1).

PEHAUT Y. – Les Oléagineux dans les pays de l'Afrique Occidentale associés au Marché Commun. La production, le commerce et la transformation des produits. – 2 vol. : Bibliogr. – (Thèse Bordeaux III - 1973) (épuisé).

Transformation des oléagineux en Afrique noire. Tableau des huileries en Afrique noire. (In : Bulletin de l'Afrique noire. 1. – 1978 (950) : 18 556-18 563 ; 2. – 1978 (957) : 18 686-18 693).

WEISS E.A. – Oil seed crops. – Londres : Longman, 1983.

ALEURITES

BAGOT Y. – Les huiles de Tung et d'abrasin. – Paris : IRHO, 1953. – (Série Scientifique, n° 7).

DONGUE G. – L'Aleurite et l'huile de Tung à Madagascar. (In : Les Cahiers d'Outre-Mer, 1962, 15 (58) : p. 180-186).

ARACHIDE

ADRIAN . – Valeur alimentaire de l'arachide et de ses dérivés. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1968 – (Techniques agricoles et Productions tropicales, 16).

AMERICAIN PEANUT RESEARCH AND EDUCATION SOCIETY. – Peanut Science and Technology. – Youkoum (Texas) : APRES, 1982.

AMERICAN PHYTOPATHOLOGICAL SOCIETY. – Compendium of Peanut Diseases. – St Paul (Minesota) : American Phytopathological Society, 1984.

BOCKELEE-MORVAN A. – Les différentes variétés d'arachide. Répartition géographique et climatique, disponibilité. (In : Oléagineux 1983 (2), p. 73-116).

DOLLET M. ; DUBERN J. ; FAUQUET C. ; THOUVENEL J.C. ; BOCKELEE-MORVAN A. – Les viroses de l'arachide en Afrique de l'Ouest. (In : Oléagineux 1987, 42 (7) : p. 291-297).
FORESTIER J. – Caractères végétatifs, croissance et rendement de l'arachide hâtive. (In : Cahiers ORSTOM, série Biolgoie, 1973 (19) : p. 43-62).
GILLIER P. ; SYLVESTRE P. – L'arachide. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1969. – (Techniques agricoles et productions tropicales, 15).
PEHAUT Y. – L'arachide au Niger. – Paris : Pédone, 1970. – (Études d'économie africaine, série Afrique n° 1).

CARTHAME

CNPA – Le Carthame. – S.L. : siège, 1973. – (n° 4/1973).
DUFRESNE M. ; BRYSSINE P. – Le Carthame. (In : Terre Marocaine, 1951, novembre).
WEISS E.A. – Castor, sesame and safflower. – New York : Barnes & Noble. 1971.

COCOTIER

CHILD R. – Coconuts. – 2nd edition. – Londres : Longman, 1974. – (Tropical agriculture series).
CORNELIUS J.A. – Coconuts : a review (In : Tropical Science, 1973 (1) : p. 15-37).
FREMOND Y. ; ZILLER R. ; NUCE de LAMOTHE M. – Le Cocotier. – Paris, Maisonneuve et Larose, 1966. – (Techniques agricoles et productions tropicales, n° 8).
GRANDAHAM Y. – Les Protéines de noix de coco. (In : Industries alimentaires et agricoles, 1973 (9-10) : p. 1253-1268).
GRIMWOOD B.E. et Collab. – Les Produits du cocotier. Leur traitement dans les pays en développement. – Rome : FAO, 1976. – Bibliogr. (Progrès et mise en valeur. Agriculture n° 99).
LEVER R.J.A.W. – Les Ravageurs du cocotier. Rome : FAO, 1969. – Bibliogr. (Études agricoles de la FAO, 77).
OCHS R. – Les contraintes écologiques du développement des oléagineux pérennes (palmier et cocotier) en Afrique occidentale et centrale. Choix de la plante en fonction du climat et du sol. (In : Oléagineux, 1977 32 (11) : p. 461-468, bibliogr.).
THAMPAN P.K. – Handbook on coconut palm. – 2e éd. – New Delhi : Oxford and IBH, 1982.

KARITÉ

BOURLET G. – Le problème du Karité. (In : Oléagineux, 1950 (6) : p. 1-4).
RUYSSEN B. – Le Karité au Soudan. (In : Agronomie tropicale, 1957, (2) : p. 143-172, (3) : p. 279-306, (4) : p. 415-440).
TERPEND M.N. – La filière Karité. – Produit de cueillette, produit de luxe. – Bobodioulasso : GRAAP, 1987.

OLIVIER

CULTURE et entretien des oliviers. Aix-en-Provence. Le Nouvel Olivier, 1982.
LOUSSERT R. ; BROUSSE G. – L'Olivier. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1978.

PALMIER A HUILE

BOYE P. ; MARTIN G. – Organisation générale de la récolte en palmeraie industrielle. (In : Oléagineux, 1969 (8-9) : p. 451-463).
CORLEY R.H.V. ; HARDON J.J. ; WOOD B.J. ed. – Oil palm research. – Amsterdam : Elsevier Scientific Publishing compagny, 1976. – Bibliogr. (Developments in crop science ; 1).
HARTLEY C.W.S. – The Oil palm. (Elaeis guineensis Jacq.). – 2e éd. – London : Longman, 1977. – Bibliogr. (Tropical agriculture series).

SURRE C. ; ZILLER R. – Le Palmier à huile. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1963. – (Techniques agricoles et productions tropicales, n° 2) (épuisé).
TURNER P.D. ; GIBANKS R.A. – Oil palm cultivation and management. – Kuala Lumpur. The Incorporated Society of Planters, 1974.

RICIN

CNPA – Le Ricin. – S.I. : CNPA, 1972 (n° 3/1972).
JANSON H. – Castor oil production and processing. – Vienna, ONUDI, 1974.
WEISS E.A. – Castor, sesame and safflower. – New York : Barnes and Noble, 1971.

SÉSAME

GILLIER P. – Possibilités de production de sésame au Tchad. – Paris : IRHO, 1967.
WEISS E.A. – Voir bibliogr. Ricin.

SOJA

CALDWELL. B.E. éd. – Soybeans : improvment, production, and uses. – Madison (Wisconsin) American Society of Agronomy, 1976. – Bibliogr. (Agronomy n° 16).
HINSON K. ; HARTWIG E.E.– La Culture du soja sous les tropiques. – Rome : FAO, 1977. – (épuisé).
IRAT. – Travaux conduits sur le soja en Afrique au Sud du Sahara (bibliographie). – (In : Agronomie Tropicale XXX, 1975, p. 187).
IRHO. – Le Soja. – Paris : IRHO, 1979.
LARCHER J. ; VOLPER S. ; AUBIN J.P. – Le soja en régions tropicales, une synthèse des recherches de l'IRAT. – Montpellier : IRAT, 1988.
MINGEAU M. – Étude de la sensibilité du soja à la sécheresse. (In : CETIOM. Informations techniques 1975 (47) : p. 1-14, bibliogr.).

PLANTES A PARFUMS

Ouvrages généraux :

GUENTHER E. – The Essential Oils. – Londres : Van Nostrand Reinhold, 1948-1952. – 6 vol.
LAUMONNIER R. – Cultures florales méditerranéennes. – Paris : Baillière, 1959 (Géranium rosat : 254-257).
PRICE M.J. – La Culture des plantes à parfums et épices au Papua. Nouvelle-Guinée. (In : Bulletin du Pacifique-Sud, 1972, 22 (3) : p. 24-28).
RICHARD H. – Quelques épices et aromates et leurs huiles essentielles. (Voir Bibliogr. Plantes à épices).

EUCALYPTUS

CTFT. – Sénégal. Description, écologie, utilisation de quelques eucalyptus. – Dakar : CTFT, 1972.

GERANIUM ROSAT

MICHELLON R. – Le géranium rosat à la Réunion : l'intensification de sa culture et les perspectives d'amélioration génétique. – (In : Agronomie Tropicale, 1978, 33 (1) : p. 80-89).

PATCHOULI

SOEPADYO R. ; TAN HONG TONG. – Patchouli, a profitable catch crop (Patchouli, une culture d'appoint profitable). (In : World Crops, 1968, (1) : p. 48-54).
WERDKHOVEN J. – Patchouli, an interesting oil crop. (In : Tropical abstracts, 1968, (10) : p. 609-612).

PLANTES SACCHARIFÈRES

CANNE A SUCRE

BARNES A. – The Sugar cane. Botany, cultivation and utilization. – Londres : Leonard Hill, 1964. – (World crops series) (épuisé).
Besoin en eau et irrigation de la canne à sucre (In : Cahiers d'agriculture pratique des pays chauds. (IRAT) 1967 (2) : p. 81-84).
CTCS de la GUADELOUPE. – Manuel du Planteur, Providence – Abymes, 1973.
CEDUS. – Le Sucre. – Paris : 1975.
Croissance (La) et la maturation de la canne à sucre. (In : Cahiers d'agriculture pratique des pays chauds, (IRAT) 1968 (4) : p. 191-196).
Entretien (L') des plantations de canne à sucre. (In : Cahiers d'agriculture pratique des pays chauds. (IRAT) 1968 (2) : p. 67-72).
FAUCONNIER R. ; BASSEREAU D. – La Canne à sucre. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1970. – (Techniques agricoles et productions tropicales, n° 18-19).
HUGOT E. – La Sucrerie de canne. – 2e éd. – Paris : Dunod, 1970.
ISSCT. Proceedings. Congrès triannuels 1977, 1974, 1971, etc.
KING ; MUNGOMERY ; HUGUES. – Manual of cane Growing. – Amsterdam : Elsevier, 1965. – (épuisé).
MARTIN ; ABBOT ; HUGUES ; WISMER. – Sugar Cane Diseases of the world. – Amsterdam : Elsevier, Vol I, 1961, Vol. II, 1964.
ROCHECOUSTE E. – Weed Control in Sugar cane. Le Réduit (Ile Maurice), MSIRI. – 1967.
SAMUELS G. – Foliar Diagnosis for Sugar cane. – Chicago : Adams Press. 1969.
STEVENSON G.C. – Genetics and Breeding of Sugar cane. – Londres : Longman, 1965.
VAN DILLEWIJN C. – Botanique de la Canne à sucre. – CTCS (Guadeloupe) 1960.
WILLIAMS ; METCALFE ; MUNGOMERY ; MATHES. – Pests of Sugar cane. Amsterdam : Elsevier, 1969.

PLANTES STIMULANTES

Ouvrages généraux :

COFFEE, tea and cocoa. Market prospects and development lending. – London : John Hopkins University Press, 1977. – (World Band staff occasional Papers, 22).
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOPHYSIOLOGY OF TROPICAL CROPS. 1975. Manaus. – Ecophysiology of tropical crops. – Itabuna : CEPLAC, 1975. – 2 vol. Bibliogr. (In : Vol. II 8 : Café arabica 36 p., 9 : Cacao 53 p., 10 ; Thé ; 22 p.)
LAVABRE E.M. – Insectes nuisibles des cultures tropicales (cacaoyer, caféier, colatier, poivrier, théier). – Paris, Maisonneuve et Larose, 1970. – (Techniques agricoles et productions tropicales, n° 20).

CACAOYER

ARE L.A. ; GWYNNE-JONES D.R.G. – Cacao in west Africa. – Ibadan : Oxford University Press, 1974.
ASSOUMOU J. – L'Économie du cacao. Agriculture d'exportation et bataille du développement en Afrique tropicale. – Paris : J.P. Delarge, 1977.
BLANC A.P. – L'Accord international sur le cacao. (In : BEAC Études et Statistiques, 1973, 181 : p. 76-93).
BOYER J. – Étude écophysiologique du développement des cacaoyers cultivés au Cameroun. (In : Café, Cacao, Thé, 1974, 1 : p. 3-30).
BRAUDEAU J. – Le Cacaoyer. – Paris ; G.P. Maisonneuve et Larose, 1969. – (Techniques agricoles et productions tropicales, n°17).

BRAUDEAU J. – Le Cacaoyer. – Le Caire : Éditions et publications Pères jésuites, 1973. (Études scientifiques).
BURLE L. – Le cacaoyer. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1961. – 2 vol.
HARDY F. – Manual de Cacao. – Turrialba : Instituto Inter-americano de Ciencas Agricolas, 1961.
JADIN P. ; CHAUCHARD A. ; BOIS J.F. – Alimentation hydrique des jeunes cacaoyers. Influence de l'irrigation. (In : Café, Cacao, Thé, 1976 (3) : p. 173-200).
LASS R.A. ; WOOD G.A.R. – Cocoa production : Present constraints and priorities for research. – Washington : Banque Mondiale, 1985.
LAVABRE E.M. Dir. – Les Mirides du cacaoyer. – Paris : IFCC/ Maisonneuve et Larose, 1977.
WOOD G.A.R. ; LASS R.A. – Cocoa. – 4e éd. – London : Longman, 1985. – (Tropical agriculture series).

CAFÉIER

CAPOT J. – L'Arabusta, nouveau caféier hybride. – (In : Techniques et développement, 1973, (9) : p. 37-43).
COSTE R. – Le Caféier. – Paris : G.P. Maisonneuve et Larose, 1968. – (Techniques agricoles et productions tropicales n° 14) (épuisé).
COSTE R. – Les Caféiers et les cafés dans le monde. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1955-1961. – 3 vol.
1. Les caféiers – 2. Les cafés (2 vol.)
CLIFFORD M.M. ; WILLSON K.C. – Coffee botany, biochemistry and production of beans and beverage. – Londres ; Sydney : Croom Helve, 1985.
DECRAAF J. – The Economics of Coffee. – Wageningen : Pudoc, 1986.
DEUSS J. – La régénération des caféières et les facteurs de production : couverture du sol, engrais. (In ; Café, cacao, thé, 1971, (2) : p. 115-128).
FORESTIER J. – Culture du caféier Robusta en Afrique Centrale. – Paris : IFCC, 1969.
GOUJON M. – Considérations à propos de la résistance des plantes. La cas particulier des caféiers attaqués par les rouilles orangée et farineuse. (In ; Café, cacao, thé, 1971, XV, 4, p. 308-328).
ORSTOM. – La physiologie du caféier. – Paris : siège, 1964. – 2 vol. (Physiologie des plantes tropicales cultivées).
1. De la germination à la morphogénèse.
2. La croissance (système radiculaire).
SATMACI. – Manuel de caféiculture à l'usage des conseillers ruraux, Gagnoa, SATMACI Centre de formation, 1975, 6 fasc.
SNOECK J. – Essai d'irrigation du caféier robusta. (In ; Café, Cacao, Thé, 1977 (2) : p. 111-127).
SNOECK J. – La culture et la récolte du caféier Robusta. – Paris : IRCC, 1988.
WILBAUX R. ; HAHN D. – Contribution à l'étude des phénomènes intervenant au cours de la conservation du café vert. (In ; Café, Cacao, Thé, 1966 (4) : p. 342-367).

COLATIER

DUBLIN P. – Le colatier en République Centrafricaine. Culture et amélioration. (In : Café, Cacao, Thé, 1965, 9, (2) : p. 97-115, (3) : p. 175-192, (4) : p. 294-306).
VAN EIJNATTEN C.L.M. – Kola, a review of the literature. (In : Tropical Abstracts, 1973 (8) : 541-550).

TABAC

GISQUET P. ; HITIER H. – La production du tabac. Principes et méthodes. – 2e éd. – Paris : Baillière, 1961. – (Nouvelle encyclopédie agricole) (épuisé).

ISARD C. ; CHOUTEAU J. – Le Tabac. – Paris : PUF, 1982 . – (Que sais-je ?, n° 87).
SARAGONI H. – Recherches tabacoles à la Réunion de 1963 à 1971. – St-Denis : IRAT, 1972.
SEITA. – La culture du tabac. Notice technique. Basse-Terre. Service Départemental d'Agronomie, 1974.
TABAC (Le). – (In : Agronomie tropicale, 1963, 18. (11) : 1068-1243).

THÉIER

CARR MKV. – The Climatic requirements of the tea plant : a review. (In : Experimental Agriculture, 1972 (8) : p. 1-14).
EDEN T. – Tea. – 2e éd. – Londres, Longman, 1965. (Tropical agriculture series).
HARLER C.R. – Tea growing. – Londres, Oxford University Press, 1966.
RUNNER J. – Le Thé. – 2e éd. – Paris, PUF, 1974. (Que sais-je ?, N° 1392).
WERKHOVEN J. – Tea processing. – Rome : FAO, 1974. Bibliogr. (Agricultural services bulletin n° 26).

PLANTES TANNIFÈRES ET TINCTORIALES

MANGINI E. – PLantes à tanin spontanées. Brésil. (In : Agronomie Tropicale 1947. II. p. 105 et suiv.).
MARZOCCA A. – Historia de plantas tintoreas y curtientes. – Buenos-Aires, INTA, 1959. Bibliogr. (Coleccion agropecuaria, I).
PLANTES TANNIFÈRES. – Tananarive : Centrale d'Équipement Agricole et de Modernisation du Paysannat, 1958.
PLANTES TINCTORIALES. – Tananarive : Centrale d'Équipement Agricole et de Modernisation du Paysannat, 1958.

PLANTES TEXTILES

Ouvrages généraux :

BERGER J. – The World's major fibre crops, their cultivation and manuring. – Zurich, Centre d'Étude de l'Azote, 1969.
DEMPSEY J.M. – Fiber crops. – Gainesville : The University presses of Florida, 1975.
A consulter également la revue :
COTON ET FIBRES TROPICALES publiée par l'IRCT.

COTONNIER

ARNON I. – Crop production in dry regions. II Systematic treatment of the principal crops. – London : Leonard Hill, 1972. (Coton : 261-344) (A Plant science monograph).
Le COTON en Afrique de l'ouest et du centre : situation et perspectives. – Paris : Min. Coop., 1987.
CFDT/IRCT. – La Culture cotonnière en Côte d'Ivoire. – Bouaké : CFDT, 1973.
LE COTON. – (In : Courrier de l'Association, 1973, (19) : p. 16-44).
DAVID J. – Le Coton et l'Industrie cotonnière. – 3e éd. – Paris, PUF, 1971. (Que sais-je ? n° 90).
DELATTRE R. – Parasites et maladies en culture cotonnière. Manuel phytosanitaire. Paris, IRCT, 1973.
PARRY G. – Le Cotonnier et ses produits. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1982.
PRENTICE A.N. – Cotton, with special reference to Africa. – Londres : Longman, 1972. (Tropical agriculture series).
SEMENT G. – Le Cotonnier en Afrique Tropicale. – Paris : Maisonneuve et Larose ; ACCT, 1986.

DAN, KENAF, ROSELLE

BOULANGER J. ; FOLLIN J.C. ; BOURELY J. – Les Hibiscus textiles en Afrique tropicale. – Paris : IRCT, 1984.
DESHERBAGE chimique des hibiscus textiles en Afrique occidentale (In : Coton et fibres tropicales, 1973, 28 (4) : p. 569-578).
IRCT. – L'Hibiscus cannabinus. Culture, traitement, usages. – Paris, siège, 1961.
IRCT. – Fiche technique n° 5. La Roselle. 1963.
LAURE M. – Il « Kenaf » in Thaïlandia. (La Production du Kénaf en Thaïlande). (In : Rivista di agricoltura subtropicale e tropicale, 1967, 61, (10-12) : p. 371-386).
MOREL R. – Le Kénaf et autres hibiscus. – Abidjan : BNETD, 1967.

JUTE

BUI XUAN NHUAN. – Notes sur les fibres jutières. – Paris, IRCT, 1963.
FAO. – Le Jute et les fibres apparentées face aux synthétiques. – Rome, siège, 1969. (Monographie de produits, 46).
TROPICAL PRODUCTS INSTITUTE. – Notes on the cultivation, harvesting and preparation of jute. – Londres, Siège, 1961. (TPI Report 69 1961).

KAPOKIER

BAKER H.G. – The Evolution of the cultivated kapok tree : a probable West African product (In : Ecology and economic development in tropical Africa, Berkeley, Institute of International Studies, 1965, p. 185-216).
MONTAGNAC P. – La Culture du kapokier à Madagascar en 1960. – Tananarive, IRAM-IRAT, 1960.

RAMIE

RAMIE (La). – Tananarive, Centrale d'Équipement Agricole et de Modernisation du Paysannat, 1958.
ROEHRICH O. ; BUI XUAN NHUAN. – La fibre de ramie, ses propriétés et ses qualités textiles, sa préparation, sa filature et ses utilisations industrielles. (Agronomie tropicale, 1946, 1 : p. 261-289, p. 593-613).

SISAL

LOCK G.W. – Sisal. Thirty years'sisal research in Tanzanie. – 2e éd. – Londres, Longman, 1969. (Tropical agriculture series).
NOVAES PINTO M. – La Culture du sisal dans l'État de Bahia (Brésil). (In : Annales de géographie, 1971, (438) : p. 195-213).
RAMAMONJISOA J. – Le sisal à Madagascar. (In : Madagascar. Revue de Géographie 1977 (31) : p. 87-117).
SEIZE années d'expérimentation sisalière à la station de Mandrare (Madagascar) 1953-1968. (In : Coton et fibres tropicales, 1969, 24 (4) : p. 443-463 ; 1970, 25 (2) : p. 151-174).

TROISIÈME PARTIE : ÉLEVAGE

GÉNÉRALITÉS

Publications du Ministère de la Coopération :
Collection Manuels et précis d'élevage :
– N° 1 Manuel d'hygiène du bétail et de prophylaxie des maladies contagieuses en zone tropicale (IEMVT), 3e éd., 1976 (épuisé)
– N° 2 Manuel d'aviculture en zone tropicale (IEMVT, SANDERS), 2e éd. 1983

- N° 3 Manuel de construction des bâtiments pour l'élevage en zone tropicale (IEMVT), 1977 (réimpression 1985).
- N° 4 Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères (IEMVT), 4e éd. 1984
- N° 5 Manuel vétérinaire des agents techniques de l'élevage en zone tropicale (IEMVT), 1977 (réimpression 1985). Nle éd. 1989.
- N° 6 La collecte et le conditionnement des cuirs et des peaux en régions tropicales (IEMVT), 2e éd. 1985
- N° 7 : Précis d'élevage du porc en zone tropicale (I.E.M.V.T.), 1984. – 2e éd. 1989
- N° 8 Manuel des agents d'inspection des aliments d'origine animale (IEMVT) 1976
- N° 9 Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical (IEMVT) 1978
- N° 10 Précis de parasitologie vétérinaire tropicale (IEMVT), 1981
- N° 11 Élevage du mouton en zone tropicale humide, 1989

Dossiers techniques
- Marchés à bétail. Parcs à vaccination. Bains détiqueurs. (BCEOM - IEMVT), 1971.
- Marchés de la viande. Etals de boucherie (SETIF - IEMVT), 1972.
- Un abattoir-séchoir pour centre rural ou petite ville. – Réimpression, 1986.

COULOMB, J. ; SERRES, H. ; TACHER, G. – L'élevage en pays sahéliens. – Paris : PUF, 1981. – (Techniques vivantes : développement en zones arides)
Génétique. – (In : Cahiers ORSTOM, série Biologie, 1975, vol. X, n° 2)
GUEYE, I.S. – Essai de Zoo-Économie Tropicale. – Dakar, 1977 (épuisé)
I.E.M.V.T. – Étude de l'élevage dans le développement des zones cotonnières (Burkina-Faso, Côte d'Ivoire, Mali). – Maisons-Alfort : I.E.M.V.T, 1988. – 7 vol.
JAHNKE, H.E. – Systèmes de production animale et développement de l'élevage en Afrique tropicale. – Addis Abeba : CIPEA, 1984
LACROUTS, M. – Contribution à l'étude des problèmes posés par la production du cheptel africain et malgache (IEMVT)
PAGOT, J. – L'élevage en pays tropicaux. – Paris : Maisonneuve et Larose, ACCT, 1985. – (Techniques agricoles et productions tropicales ; 34)

CHAPITRE 16 - **ALIMENTATION DU BÉTAIL**

CALVET, H. ; BOUDERGUES, R. ; FRIOT, D. ; VALENZA, J. ; DIALLO, S. ; CHAMBRON, J. – La paille de riz dans l'alimentation animale au Sénégal. (In : Rev. Méd. vét. Pays trop., 1974, XXVII, 3 : 347-362)
C.I.H.E.A.M./Algérie. – Séminaire sur la digestion, la nutrition et l'alimentation du dromadaire. Ourgla (Algérie), 28 fév./1er mars 1988.
DOLBERG, F. ; SAADULLAH, M. ; HAQUE, M. ; AHMED, R. – Conservation des pailles traitées à l'urée. – (In : Revue mond. Zootech., 1981, 38 : 37-41)
I.N.R.A. – Alimentation des ruminants. – Paris : Ed. INRA, 1978
I.N.R.A. – L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles. – Paris : Ed. INRA, 1984
I.N.R.A. – Alimentation des bovins, ovins et caprins. – Paris : Ed. INRA, 1988
I.N.R.A. - I.T.E.B. - E.D.E. – Pratique de l'alimentation des bovins. Conseils pour l'éleveur, Tome 1 : Vaches laitières. – Paris : INRA, 1981
I.N.R.A. - I.T.E.B. – Alimentation des bovins. – Paris : Ed. ITEB, 1984
Le dromadaire, animal idéal des terres arides et désertiques. – (In : Revue Mondiale de Zootechnie, 1986, 57 : 59 p.)
RICHARD, D. ; BASSINGA, A. ; ICKOWICZ, A. ; CLOE, L. ; PUGLIESE, P.L. ; ZUNGRANA, M. ; CHICOTEAU, P. – Essais d'alimentation de moutons au Burkina-Faso. – Burkina-Faso : Minis. Dével. rural/IEMVT, 1985

RICHARD, D. ; HUMBERT, F. ; DOUMA, A.. – Essais d'alimentation de moutons au Niger. – Niger : Minist. Ens. Sup. et Rech./I.E.M.V.T, 1985
SANSOUCY, R. – Fabrication de blocs de mélasse-urée. – (In : Revue mondiale de zootechnie, 1986 : 40-48)
UNDERWOOD, E.J. – The mineral nutrition of livestock. – Commonwealth Agricultural Bureaux, 1981

RESSOURCES FOURRAGERES

BOTTON, H. – Les plantes de couverture : guide pratique de reconnaissances et d'utilisation des légumineuses en Côte d'Ivoire. – (In : J. Agric. trop. Bot. appl., 1957, 4 : 553-615. 1958, 5 : 45-172)
COMBES, D. – Polymorphisme et modes de reproduction dans la section des Maximae du genre Panicum (Graminées) en Afrique.– Paris : ORSTOM, 1975 (Mémoires ORSTOM ; 77)
GODROUN, M. et collab. – Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu : principes et transcriptions sur cartes perforées. – Paris : CNRS-CEPE, 1968
GOHL, B. – Les aliments du bétail sous les tropiques : données sommaires et valeurs nutritives. – Rome : FAO, 1982. – (Production et santé animale, n° 12)
GOUNOT, M. – Méthode d'étude quantitative de la végétation. – Paris : Masson, 1969
HAQUE, I. ; JUTZI, S. ; NEATE, P.J.H. – Potentials of forage legumes in farming systems of subsaharian Africa : proceedings of a workshop held at ILCA. – Addis Abeba : ILCA, 1986
HAVARD-DUCLOZS, B. – Les plantes fourragères tropicales. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1967
HUTCHINSON, J. ; DALZIEL, J.M. – Flora of west tropical Africa. 2nd ed. revised by KEAY, R.W.J. and HEPPER, F.N. – London : The crown agents for overseas governments and administration, 1954-1972
JACQUES-FELIX, H. – Les graminées d'Afrique tropicale. I. Généralités, classification, description des genres. – Nogent-sur-Marne : IRAT, 1962
LAPEYRONIE, A. – Les productions fourragères méditerranéennes. – Paris : Maisonneuve et Larose. (Techniques agricoles et productions méditerranénnes ; 4). – Vol. 1 Généralités : caractères botaniques et biologiques. – 1982
PENNING DE VRIES, F.W.T. ; DJITEYE, M.A. – La productivité des pâturages sahéliens. – Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. – Wageningen : Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1982
PERNES, J. – Organisation évolutive d'un groupe agamique ; la section des Maximae du genre Panicum (Graminées). – Paris : ORSTOM, 1975. – (Mémoires ORSTOM ; 75)
RATTRAY, J.M. – Tapis graminéens d'Afrique. – Rome : FAO, 1960. – (Études agricoles de la FAO, n° 49)
SEMPLE, A.T. – L'amélioration des herbages dans le monde. – Rome : FAO, 1956. – (Études agricoles de la FAO, n° 16)
SHAW, N.H. ; BRYAN, W..W. – Tropical pasture research. Principles and methods. – s.l, s.n., 1976. –
SKERMAN, P.J. – Les légumineuses fourragères tropicales. – Rome : FAO, 1982. – (Production végétale et protection des plantes ; 2)
UNESCO. – Ecosystèmes pâtures tropicaux. Un rapport sur l'état des connaissances préparé par l'UNESCO, le PNUD, la FAO. – Paris : UNESCO, s.d. – (Recherches sur les ressources naturelles, XVI)

WHYTE, R.O. ; MOIR, T.R.G. ; COOPER, J.P. – Les graminées en agriculture. – Rome : FAO, 1959. – (Études agricoles de la FAO, n° 42)
WHYTE, R.O. ; NILSSON-LEISSNER, G. ; TRUMBLE, H.C. – Les légumineuses en agriculture. – Rome : FAO, 1955. – (Études agricoles de la FAO, n° 21)
WILSON, J.R. – Plant relations in pastures. – s.l., s.n., 1978

CHAPITRE 17 - **ZOOTECHNIE**

BARRAL, H. ; BENEFICE, E. ; BOUDET, G. et collab. – Systèmes de production d'élevage au Sénégal dans la région du Ferlo. Synthèse de fin d'études d'une équipe de recherches pluridisciplinaires. (ACC - GRIZA LAT). – Maisons-Alfort : IEMVT, 1983. – (Etudes et synthèses I.E.M.V.T, n° 8)
HOFFMANN, O. – Les plantes en pays Lobi (Burkina et Côte d'Ivoire). – Maisons Alfort : IEMVT, 1987. – (Etudes et synthèses I.E.M.V.T, n° 22)
HOSTE, C. ; PEYRE DE FABRÈGUES, B. ; RICHARD, D. – Le dromadaire et son élevage. – Maisons-Alfort : I.E.M.V.T, 1985. – (Études et synthèses IEMVT, n° 12)
LANDAIS, E. – Analyse des systèmes d'élevage bovin sédentaire du nord de la Côte d'Ivoire. – Maisons-Alfort : IEMVT, 1983. – 2 vol.
LANDAIS, E. éd. ; FAYE, J., dir. – Méthodes pour la recherche sur les systèmes d'élevage en Afrique intertropicale. Actes de l'atelier. ISRA, Mbour (Sénégal), 2-8 février 1986. – Maison Alfort : I.E.M.V.T., 1986. – (Études et synthèses de l'I.E.M.V.T. ; 20)
LHOSTE, P. – L'association agriculture-élevage. Evolution du système agropastoral au Sine-Saloum (Sénégal). – Maisons-Alfort : I.E.M.V.T, 1987. – (Etudes et synthèses IEMVT, n° 21)
RICHARD, D. – Bibliographie sur le dromadaire et le chameau. – Maisons-Alfort : IEMVT, 1980. – (Études et synthèses IEMVT, n° 1)
TACHER, G. – Pathologie animale tropicale et économie. – Maisons-Alfort : IEMVT, 1985. – (Études et synthèses de l'IEMVT, n° 13)

CHAPITRE 19 - **AVICULTURE**

CASTAING, J. – Aviculture et petits élevages. – 3e éd. – Paris : Baillère, 1979. (Collection Enseignement agricole)
FORT, M. – L'élevage des gallinacés et du faisan. – Paris : De Vecchi, 1980
INRA. – L'alimentation des animaux monogastriques (porcs, lapins, volailles). – Paris : INRA, 1984
I.E.M.V.T. – Manuel d'aviculture en zone tropicale. – 2e éd. – Paris : Ministère de la Coopération, 1983. – (Manuel et Précis d'élevage, n° 2)
JOURDAIN, R. – L'aviculture en milieu tropical. – Coulommiers : Jourdain International, 1987
SALICHON, Y. – Logement des volailles dites «secondaires». Techniques agricoles, fascicule 4112. – Paris : Éditions Techniques, 1985
SAUVEUR, B. – Reproduction des volailles et production d'oeufs. – Paris : INRA, 1988

Pintade

CHEMILLIER, J. – L'alimentation de la pintade. – Neuilly : Hoffmann la Roche et Cie, 1984. – (Besoins alimentaires, alimentation pratique, conduite de l'élevage).
GUEGAN, Y. – L'élevage de la pintade. Conduite d'élevage, rentabilité. – Paris : ITAVI, 1986

Dinde

AVIGNON, M.F. – L'élevage des dindons. Méthodes et rentabilité. – Paris : Flammarion, 1979

Fabrication des aliments
ITCF-CEMAGREF. – Guide pratique : fabriquer ses aliments à la ferme. – Paris : ITCF, CEMAGREF, 1986

Bâtiments
ITAVI. – Les bâtiments d'élevage : isolation, climatisation, nouveautés et orientations. – Paris : ITAVI, 1982

CHAPITRE 20 - **APICULTURE**

JEAN-PROST, P. – Apiculture, connaître l'abeille, conduire le rucher. – 6e éd. – Paris : Technique et Documentation, J. Baillière, 1987.
J.P. Boueilh, Service des Opérations de Développement en Apiculture, AFVP, BP 2, 91310 Monthléry.
VILLIERES, B. – L'apiculture en Afrique tropicale. – Paris : GRET, 1987

CHAPITRE 21 - **PISCICULTURE**

BARD, J. ; DE KIMPE, P. ; LEMASSON, J. ; LESSENT, P. – Manuel de pisciculture tropicale. – Nogent-sur-Marne : CTFT, 1974
BALARIN, J.D. ; HATTON, J.P. – Tilapia. A guide to their biology and culture in Africa. Unit of Aquatic Pathology, Univ. of Stirling, Scotland, U.K., 1979
CAMPBELL, D. – Large scale farming of Sarotherodon niloticus. – (In : Aquaculture, 1985, 48 : 57-69)
CAVAILLES, M. – Production intensive d'alevins de Sarothrodon niloticus. – Bouaké (Côte d'Ivoire) : CTFF Div. Rech. Piscic., 1981
CAVAILLES, M. ; KONAN, K. ; DOUDET, T. – Essai d'élevage de poissons en cages flottantes en eaux continentales. Bouaké (Côte d'Ivoire) : CTFT, Div. Rech. Piscic., 1981
CHERVINSKI, J. – Environment physiology of Tilapia. – (In : the biology and culture of Tilapia, ICLARM Conf. Proceed, 1982, 7, Manila, 119-128)
COCHE, A. – Cage culture of Tilapia (In : The biology and culture of Tilapia, ICLARM Conf. Proceed, 1982, 7 Manila, 205-246)
HASTINGS, W.H. – Fish nutrition and fish feed manufacture. FIR : AQ/Conf./76/R. 23, FAO, 1976
HEM, S. – Premiers résultats sur la reproduction contrôlée de Chrysichthys nigrodigitatus. – (In : Aquaculture Research in the Africa Region, I.F.S. - Wageningen : P.U.D.O.C, 1986)
HIRIGOYEN, J.P. ; PETEL, C. – Contribution à l'étude de la méthode d'élevage associé porcs-poissons : nouveaux tests d'élevage de porcs associés à la pisciculture de Sarotherodon niloticus (Linne, 1757) à la Station de Bouaké (Rép. de Côte-d'Ivoire), (In : Notes et Documents sur la Pêche et la Pisciculture, 1980 21 : 45-56)
JAUCEY, K. ; ROSS, B. – A guide to Tilapia feeds and feeding. – Institute of Aquaculture, Univ. of Stirling, Scotland, U.K., 1982
LAZARD, J. – Le développement de la pisciculture intensive en Côte d'Ivoire : exemple de la ferme piscicole pilote de Natio-Kobadara (Korhogo). – (In : Notes et documents sur la pêche et la pisciculture, 1980, 21 : 1-44)
LAZARD, J. – L'élevage du Tilapia en Afrique. Données techniques sur sa pisciculture en étang. – (In : Bois et Forêts des tropiques, 1984 (206) : 33-50)
LAZARD, J. – Aquaculture : après les illusions. – (In : Actuel développement, (66) : 50-52)
LUQUET, P. – Rapport de mission d'appui. Alimentation. Projet de Développement de la Pisciculture, Bénin. – Nogent sur Marne : CTFT, 1984

MAGNET, C. ; KOUASSI YAO, S. – Essai d'élevage de poissons en cage flottantes dans les lagunes Ebrié et Aghien. – Nogent-sur-Marne : CTFT, 1978
MAREK, M. – Revision of supplementary feeding tables for pondfish. – Bamidgeh, 1975. – 3 vol. – 27, 57-54
MORISSENS, P. – Un premier test d'élevage de porcs associé à la pisciculture de *Tilapia nilotica*, à la Station de Bouaké (Rép. de Côte-d'Ivoire). – (In : Notes et Documents sur la Pêche et la Pisciculture, 1979, 19 : 27-50)
MORISSENS, P. ; ROCHE, P. ; AGLINGLO, C. – La pisciculture intensive en enclos dans les grandes lagunes du Sud-Est Bénin. – (In : Bois et Forêts des Tropiques, 1986, 213 : 51-70)
PARREL, P. ; ALI, I. ; LAZARD, J. – Le développement de l'aquaculture au Niger : un exemple d'élevage de Tilapia en zone sahélienne. – (In : Bois et Forêts des Tropiques, 1986, 212 : 71-94)
PLANQUETTE, P. ; PETEL, C. – Quelques données sur la mise au point de méthodes d'élevage de *Tilapia nilotica* associé à un prédateur. Symp. Pêches en eaux douces. Mexico, 1976.
PLANQUETTE, P. ; PETEL, C. – Quelques données sur la valeur nutritive de certains produits utilisés comme aliments pour l'élevage intensif de Tilapia nilotica. – (In : Notes et Documents sur la Pêche et la Pisciculture, 1976, 12 : 21-29)
STICKNEY, R. – Tilapia Tolerance of Saline Waters : A review. – (In : The progressive Fish Culturist, 1986, Vol. 48 number 3)
WATANABE, W.Q. et al. – Salinaty tolerance of the Tilapia Oreochromis aureus, O. niloticus and a O. mossambicus x O. niloticus hybrid. – I.C.L.A.R.M., 1985 technical report 16.

QUATRIÈME PARTIE : ÉCONOMIE RURALE

CHAPITRE 22 - ÉCONOMIE RURALE

Publications du Ministère de la Coopération :
Recherche, vulgarisation et développement rural en Afrique noire. Colloque de Yamoussoukro. – 1987. – (Focal Coop)
Évaluation du développement rural (SEDES), 2e éd. – 1982. – (Coll. Méthodologie, n° 14)

BADOUIN R. – Économie rurale. – Paris : Arsand Colin, 1971
BALLESTER J. – Manuel-guide d'économie agricole. Gestion, commercialisation. Marché commun. – Paris : Éditions Jacques Lanore, 1977
BANQUE MONDIALE. – The Assault on world poverty. Problems on rural development, education and health. – Baltimore : The John Hopkins University Presss, 1975
BYERLEE, D. – Indirect employment and income distribution effects of agricultural development strategies : a simulation approach applied to Nigeria. – East Lansing : Michigan State University, 1973. – (African rural employment paper n° 9)
CHEMINAUD, M. – La gestion et la comptabilité de l'entreprise agricole. – 2e éd. – Paris : Baillière, 1983
CHOMBART de LAUW J. ; POITEVIN, J. ; TIREL, J.C. – Nouvelle gestion des exploitations agricoles. – 2e éd. – Paris : Dunod, 1963 (épuisé)
CORDONNIER, P. ; CARLES, R. ; MARSAL, P. – Économie de l'entreprise agricole : préparation des décisions. – Paris : Cujas, 1977. – (Collection Initiation, Série Economie)
CORRE, J. ; FONANEAU, M. ; RIOLLET, J. – Guide comptable professionnel des entreprises agricoles. – Paris : I.G.E.R, 1970. – 2 vol. – (épuisé)

FARCY, H. de. – Économie agricole. – Paris : Sirey, 1970 (L'économique, n° 5) (épuisé)
FRIEDRICH, K.H. – Gestion des exploitations agricoles : rassemblement et analyse des données : un système informatisé. – Rome : FAO, 1978. – (Bulletin des services agricoles ; 34)
GASTELU, J.M., Dir. – Systèmes de production agricole en Afrique tropicale. – (In : Cahiers des Sciences Humaines, 1987 (314) : 566 p. , 1988 (1) : 144 p.)
IGER. Paris. – Guide comptable professionnel des exploitations agricoles. – 2e éd. – Paris : IGER, 1980
LEJET, G. ; ARNOLD, R. – Comptablité agricole. – Paris : Lavoisier, 1988
MALASSIS, L. – Agriculture et processus de développement. Essai d'orientation pédagogique. – Paris : UNESCO, 1978
MARTY, J.R. ; HILAIRE, A. – Références technico-économiques. – Toulouse : INRA. – 3 vol. :
1. : 1re partie : étude expérimentale des systèmes de culture. – L'obtention des références techniques, 1974
2. : 2e partie : Premier essai d'exploitation des références techniques après 5 ans de culture (Rot. céréalières). 1974
3. : 3e partie : production fourragère (Essai rotations - Systèmes de cultures). 1975 (épuisé)
MILHAU, J. ; MONTAGNE, R. – Économie rurale. – Paris : Presses Universitaires de France, 1968. – (Coll. Thémis Sciences économiques) (épuisé)
OCDE. Centre de développement. – Politique économique et performances agricoles dans les pays à faible revenu. – Paris : OCDE, 1987
SCHNEIDER, H. – Groupements paysans et productivité agricole. Expériences africaines. – Paris : OCDE, Centre de Développement, 1988
VINCENT, F. – Manuel de gestion pratique des associations de développement rural du Tiers-Monde. – Genève : IRED, 1986
1. Organisation, administration, communication ; 2. Gestion financière

CHAPITRE 23 - **ÉLABORATION DES PROJETS**

BRIDIER, M. ; MICHAILOF, S. – Guide pratique d'analyse de projets. Évaluation et choix de projets d'investissements. – 4e éd., revue et complétée. – Paris : Économica, 1987
DURUFLE, G. ; FABRE, R. ; YUNG, J.M. – Manuel d'évaluation des effets sociaux et économiques des projets de développement rural. – Paris : Ministère de la Coopération, 1988
GITTINGER, J.-P. – Analyse économique des projets agricoles. – 2e éd. – Washington: B.I.R.D., 1985.

CHAPITRE 24 - **ÉLÉMENTS DE COMPTABILITÉ D'ENTREPRISE**

DEPALLENS, G. – Gestion financière de l'entreprise. – 9e éd. – Paris : Sirey, 1986-1988. – 2 vol. – (Administration des entreprises)
DEPALLENS, G. – Initiation aux problèmes financiers de l'entreprise. – 4e éd. – Paris : Entreprise moderne d'Édition, 1976. – (Cadréco, 1)
LAUZEL, P. – Comptabilité analytique. – 4e éd. – Paris : Sirey, 1985. – (Administration des entreprises)
PEROCHON, C.I. ; REIX, R. ; LEURION, J. – Techniques quantitatives de gestion. – Paris : Foucher, 1981-1983
TERNIER, M. – Initiation au calcul économique et à son utilisation pour le choix des investissements. – nouv. éd. – Paris : Ministère de la Coopération, 1974.

CHAPITRE 25 - **APPLICATIONS DE LA STATISTIQUE EN AGRICULTURE TROPICALE**

Publications du Ministère de la Coopération :
– Initiation à la programmation linéaire, 1978
– Initiation au calcul des probabilités et à la théorie de l'échantillonnage, 1979
AUTISSIER, V. ; CAPURET, A. ; COLINET, L. – Les enquêtes agricoles : mémento-guide. – Paris : GRET, 1987.
CIRAD. Montpellier. – Problèmatique et instruments d'observation en zone rurale tropicale : synthèse et résumés des communications. – Montpellier : CIRAD, 1988.
DAGNELIE, P. – Principes d'expérimentation. – Gembloux : Presses Agronomiques, 1981
DAGNELIE, P. – Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques. – 2e éd. – Gembloux : J. Duculot, 1984-1985. – 2 vol.
1. : La statistique descriptive et les fondements de l'inférence statistique
2. : Les méthodes de l'inférence statistique
DESABIE, J. – Théorie et pratique des sondages. – Paris : Dunod, 1966. – (Stat. et program. économ. n° 10) (épuisé)
IFARC. Montpellier. – Le traitement des données d'enquêtes. – Montpellier : IFARC, 1982.
INED, INSEE, ORSTOM, Ministère de la Coopération. – Sources et analyse des données démographiques. Application à l'Afrique d'expression française et à Madagascar. – Paris : INED, 1973-1977. – 4 vol. (épuisé)
INSEE. – Statistiques sociales : méthodes et sources. – Paris : INSEE, 1972. – (Collections de l'INSEE, série C n° 14 ; 56)
JAVEAU, C. – L'enquête par questionnaire. Manuel à l'usage du praticien. – 3e éd. – Bruxelles : Ed. de l'Institut de Sociologie, 1982 (études de méthodologie)
LEFEBVRE, J. – Introduction aux analyses statistiques multidimensionnelles. – 3e éd. – Paris : Masson, 1983
LEVY, M. – Comprendre les statistiques. – Paris : Seuil, 1979. (Points Économie ; 12)
LIORZOU, A. – Initiation pratique à la statistique. – 11e éd. – Paris : Bordas, 1985
RAYMOND, H. ; LEGOTIEN, H. – Les méthodes d'enquêtes par sondage en milieu rural africain. (In : Techniques et développement, 1973, n° 8 : 16-21 ; n° 9: 23-27) (épuisé)
ROHRMOSER, K. – Manuel sur les essais au champ dans le cadre de la coopération technique. – Eschborn, Wageningen : GTZ, CTA, 1986.
SNEDECOR, G.W. ; COCHRAN, W.C. – Méthodes statistiques. – 6e éd. – Paris : ACTA, 1984
TROUSSET, P. – Mathématiques appliquées à l'agriculture : statistiques et probabilités, mathématiques financières et calcul matriciel conforme aux programmes des classes de BTSA. – Angers : ARPEPS, 1983
VESSEREAU, A. – Méthodes statistiques en biologie et en agronomie. – Ed. revue. – Paris : Technique Doc, Baillière, 1988
YANG, W.Y. – Méthodes d'enquête sur la gestion des entreprises agricoles. – 2e éd. – Rome : FAO, 1980. (Agriculture ; 11)

Consulter aussi :
– FAO. Annuaire du Commerce
– FAO. Annuaire de la Production

QUELQUES RÉFÉRENCES COMPLÉMENTAIRES SÉLECTIONNÉES EN 1991

BDPA-SCETAGRI. – Développement rural. Bibliographie pour les pays tropicaux et sahéliens : 400 livres et 100 revues. – Paris : BDPA-SCETAGRI, 1991

PREMIÈRE PARTIE : AGRICULTURE GÉNÉRALE

CHAPITRE 4 - TÉLÉDÉTECTION

Apports de la télédétecion à la lutte contre la sécheresse. – Paris : Tec & Doc Lavoisier, 1990

CHAPITRE 5 - SOLS

CHAMAYOU, H. ; LEGROS, J.P. – Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. – Paris : ACCT-CILF, 1989

FAO. – Directives : évaluation des terres pour l'agriculture pluviale. – Rome : FAO, 1988. – (Bulletin pédologique de la FAO ; 52)

LOZET, J. ; MATHIEU, C. – Dictionnaire des sciences du sol. – Paris : Tec & Doc, 1990

PIERI, C. – Fertilité des terres de savanes : bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. – Paris ; Montpellier : Ministère de la coopération ; CIRAD/IRAT, 1989.

CHAPITRE 6 - CONSERVATION DES SOLS

HUDSON, N.W. ; ROOSE, E (adapt.). – Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides. – Rome : FAO, 1990. – (Bulletin pédologique de la FAO ; 57)

UNGER, P.W. – Conservation des sols et des eaux : façons culturales appréciées. – Rome : FAO, 1989. – (Bulletin pédologique de la FAO 54)

CHAPITRE 7 - FERTILISATION

BOCKMAN, O.C. – Agriculture et fertilisation. – Paris : Tec & Doc, 1990

FAO. – Fertilizers and food production : summary of trial and demonstration results 1961-1986. – Rome : FAO, 1989

FAO. – Stratégies en matière d'engrais. – Rome : FAO, 1989. – (Coll. FAO. Mise en valeur des terres et des eaux ; 10)

PIERI, C. – Fertilité des terres de savanes. – Paris : CIRAD-IRAT – Ministère de la coopération, 1989

SEBILLOTTE, M.. – Fertilité et systèmes de production. – Paris : Tec & Doc, 1989

CHAPITRE 8 - PRODUITS DE LUTTE ANTI-PARASITAIRE

CIRAD/PRIFAS. – Suite Coll. Acridologie :

CHIFFAUD, J. ; MESTRE, J. – Le criquet puant, 1990

MESTRE, J. – Les acridiens des formations herbeuses d'Afrique de l'ouest. – Paris ; Montpellier : Min. Coop, CIRAD/PRIFAS, 1988.

POPOV, G.B ; DURANTON, J.-F. ; GIBAULT J.B. – 884 p. CCE/FAO/Min. Coop. 1991. Études écologiques des biotopes du criquet Pèlerin (schistocerca gregaria Forskal, 1775) en Afrique nord occidentale.

CORBAZ, R. – Principes de pathologie et de lutte contre les maladies des plantes.°– Paris : Tec & Doc, 1990

Mise en évidence et description des unités territoriales écologiquement homogènes.
RIBA, C. ; SILVY, Ch. – Combattre les ravageurs de cultures. – Paris : INRA - Tec & Doc, 1990
ROBBE-DURAN, P. – Index phytosanitaire. – Paris : Tec & Doc, 1991
SCALLA, R. – Les herbicides, mode d'action et principes d'utilisation. – Paris : Tec & Doc, 1991. – (Du labo au terrain)

CHAPITRE 9 - **PRODUCTION DE MATÉRIEL VÉGÉTAL**

LAFON, J.P. ; THARAUD-PRAYER, C. ; LEVY, G. – Biologie des plantes cultivées. – Paris : Tec & Doc, 1990
VILAIN, M. – La production végétale. – Paris : Tec & Doc, 1989 (Agriculture d'aujourd'hui : sciences, techniques, application)

CHAPITRE 10 - **IRRIGATION - DRAINAGE**

FAO. – Évaluation des terres pour l'agriculture irriguée : directives. – Rome : FAO, 1989. – (Bulletin pédologique de la FAO ; 55)
GADELLE, F.. – Hydraulique pastorale et rurale. Le surcreusement des mares. – Paris : Ministère de la Coopération, 1989. – (Maîtrise de l'eau)
GRET ; DELLO, I.T.. – Les Eoliennes de pompage. Théories, matériel et réalisations. – Paris : Ministère de la Coopération ; GRET, 1989. – (Le point sur les technologies)
VILAND, M.C. – Eau et santé. Éléments pour un manuel pédagogique pour des programmes d'hydraulique villageoise des pays en développement. – Paris : Ministère de la Coopération, 1989. – (Technologies et développement)

CHAPITRE 11 - **MACHINISME**

CEDRA, C. – Lexique illustré du machinisme et des équipements agricoles. – Paris : Tec & Doc, 1991. – (Formagri) vol. 1
CEEMAT ; CINAM. MAROUZE, C. ; HUET, P. ; OGIER, M. – L'artisan mécanicien : manuel pour petits ateliers urbains et ruraux. – Paris : Ministère de la Coopération, 1989. – (Techniques rurales en Afrique)
ROUMENS, F. ; CAVANA, J.F. – Gestion des matériels dans le projets de développement rural. – Paris : Ministère de la Coopération, 1989. – (Techniques rurales en Afrique)

CHAPITRE 13 - **AGROFORESTERIE**

BUTTOUD, G. – Les produits forestiers dans l'économie africaine. – Paris : ACCT-CILF, 1989
CTFT. – Mémento du forestier. – Paris : Ministère de la Coopération, 1989. – (Techniques rurales en Afrique)

CHAPITRE 14 - **PÉPINIÈRES ET PLANTATIONS**

GENIN, A. – La botanique appliquée à l'horticulture. – Paris : Tec & Doc, 1990
NICOLAS, J.P. ; ROCHE-HAMON, Y. – La pépinière. – Paris : Tec & Doc, 1989

DEUXIÈME PARTIE - AGRICULTURE SPÉCIALE

CHAPITRE 15 - **CULTURES SPÉCIALES**

BONHEURE, D. – Le théier. – Paris : Maisonneuve & Larose, 1989 (Le technicien d'agriculture tropicale)

BORGET, P. – Les légumineuses vivrières tropicales. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1989 (le technicien d'agriculture tropicale)
CAMBRONY, H.R. – Le caféier. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1989. – (Le technicien d'agriculture tropicale)
CEEMAT ; CRUZ, J.F. ; TROUDE, F. – Conservation des grains en région chaude. – Paris : Ministère de la Coopération, 1989. – (Techniques rurales en Afrique)
COSTE, R. – Caféiers et cafés. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1989. – (Techniques agricoles et productions tropicales)
DACOSTA, Y. – Lait de soja et tofu. – Paris : Tec & Doc, 1990. – (Actualités scientifiques et techniques en industries agro-alimentaires, n° 45)
LAVIE, P. – Vitacées de l'ouest africain. – Paris : Ministère de la Coopération, 1989
MESSIAEN, C.M. – Le potager tropical. – Paris : ACCT-CILF, 1989

TROISIÈME PARTIE - ÉLEVAGE

CHAPITRE 16 - ALIMENTATION DU BÉTAIL ET RESSOURCES FOURRAGERES

GUEGUEN, L. ; DURAND, M. ; MESCHY. – Apports recommandés en éléments minéraux majeurs pour les ruminants. – (In : Bull. Tech. CRZV INRA 70, 1987).
GODON, B. – Biotransformation des produits céréaliers. – Paris : Tec & Doc, 1991. – (Sciences et techniques agro-alimentaires)
KING, J.M. – Influence du climat et de l'alimentation sur les besoins en eau du bétail en Afrique tropicale. – Addis-Abeba : ACCT-CIPEA, 1989

CHAPITRE 17 - ZOOTECHNIE

IEMVT ; CHARRAY ; HUMBERT ; LEVIF. – Manuel d'élevage du mouton en zone tropicale humide d'Afrique. – Paris : Ministère de la Coopération, 1989. – (Manuels et précis d'élevage, n° 11)
IEMVT. ; LEVIF, J. – Manuel vétérinaire des agents techniques de l'élevage tropical. – Paris : Ministère de la Coopération, 1990. – (Manuels et précis d'élevage, n° 5)
IEMVT ; SERRES, H. – Précis d'élevage du porc en zone tropicale. – Paris : Ministère de la Coopération, 1989. – 2e éd. – (Manuels et précis d'élevage, n° 7)
TAIEB-BELHADJ M. ; TISSERAND, I.L. – Amélioration génétique des bovins sous climat sud-méditerranéen. – Paris : Tec & Doc Lavoisier, 1990.

CHAPITRE 18 - HYGIÈNE ET PATHOLOGIE

FAO ; OMS ; OIE. – Animal health yearbook 1989 = Annuaire de la santé animale 1989 = Anuario de sanidad animal 1989. – Rome : FAO, 1990. – (Production et santé animale).

CHAPITRE 19 - AVICULTURE

SAUVEUR, B. – Reproduction des volailles et production d'oeufs. – Paris : Tec & Doc, 1989

CHAPITRE 21 - PISCICULTURE

ABRIGNON, J. ; HUNER, J.V. ; LAURENT, P.J. – L'écrevisse rouge des marais. – Paris : Maisonneuve et Larose, 1990. – (le Technicien d'agriculture tropicale)
BARNABE, G. – Aquaculture. – Paris : Tec & Doc, 1989. – 2 vol.

QUATRIEME PARTIE - ÉCONOMIE RURALE

CHAPITRE 23 - ÉLABORATION DE PROJETS

DURUFLE, G. ; FABRE, P. ; YUNG, J.M. – Les interventions en milieu rural. Principes et approche méthodologique. – Paris : Ministère de la Coopération, 1989. – (Méthodologie, n° 23)

JOSSET, G. – Aménagements villageois et du terroir. – Paris ; Wageningen : Maisonneuve et Larose ; CTA ; ACCT, 1990. – (le Technicien d'agriculture tropicale)

ROUMENS, F. ; CAVANA, J.-F. – Gestion du matériel dans les projets de développement rural (2e partie Gestion pratique d'un parc). – Paris : Ministère de la Coopération, 1988. Coll Tech. rurales en Afrique.

SEDES ; CHERVEL, M. ; LE GALL, M. – Manuel d'évaluation économique des projets : la méthode des effets. – Paris : Ministère de la Coopération, 1990. – (Méthodologie, n° 10). – 2e éd.

CHAPITRE 24 - ÉLÉMENTS DE COMPTABILITÉ DE L'ENTREPRISE

RHETORE, A. ; RIQUIER, D. – Gestion de l'exploitation agricole. – Paris : Tec & Doc, 1989. – (Agriculture d'ajourd'hui : sciences, techniques, applications)

USUELS

- Africa South of the Sahara.- 19th ed.- London : Europa Publications Ltd, 1989
- Agricultural Research Centers : A world directory of organization and programmes.- 8e éd.- Harlow : Longman, 1986. 2. vol
- CTA.- Sources d'informations sur l'agriculture tropicale.- Wageningen : CTA, 1987-1988.- 2 vol.
- FAO.- Répertoire des établissements d'enseignement et de formation agricole en Afrique.- Rome : FAO, 1984

SÉLECTION DE REVUES FRANCOPHONES

LISTE DES REVUES FRANCOPHONES : AGRICULTURE ET ÉCONOMIE

AFRIQUE AGRICULTURE (mensuel)
Publiafric
190, bd Haussmann
75008 PARIS

AGRICULTEURS POUR LE DÉVELOPPEMENT (trimestriel)
FIPA
21, ure Chaptal
75009 PARIS

AGRITROP (mensuel)
CIRAD
BP 5035 – 34032 Montpellier

AGRONOMIE TROPICALE (trimestriel)
IRAT/CIRAD
BP 5035 – 34032 Montpellier

BOIS ET FORETS DES TROPIQUES (trimestriel)
CTFT
45 bis, avenue de la Belle Gabrielle
94736 NOGENT SUR MARNE

BULLETIN AGRICOLE DU RWANDA
Ministère de l'agriculture
BP 104 B.N.R
240501 KIGALI – Rwanda

BULLETIN TECHNIQUE D'INFORMATION (mensuel)
Ministère de l'Agriculture
78, rue de Varenne – 75007 PARIS

CAFE - CACAO - THÉ (trimestriel)
IRCC
26, rue Poncelet – 75017 PARIS

LES CAHIERS DE LA RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT (trimestriel)
CIRAD-DSA
BP 5035
34032 Montpellier cedex

CAHIERS ORSTOM Série Pédologie
ORSTOM
70-74, route d'Aulnay
93140 BONDY Cedex

CHRONIQUES - RÉSEAUX TECHNOLOGIES, CULTURE ET DÉVELOPPEMENT
GRET
213, rue La Fayette – 75010 PARIS

COTON ET FIBRES TROPICALES (trimestriel)
CIRAD/IRCT
BP 5035
34032 Montpellier

COURANTS (mensuel)
PYC EDITION
254, rue de Vaugirard
75740 PARIS CEDEX 15

CULTIVAR 2000 (bimensuel)
Documentation Agricole
28, rue Basse
BP 629 – 59024 LILLE

ÉCONOMIE RURALE (bimestriel)
Société Française
d'Économie Rurale
16, rue Claude Bernard
75005 PARIS

FRUITS
IRFA/CIRAD
6, rue du Général Clergerie
75116 PARIS

LA LETTRE DU RÉSEAU RECHERCHE DÉVELOPPEMENT
Bulletin d'information du réseau recherche développement
GRET
213, rue La Fayette – 75010 PARIS

MARCHÉS TROPICAUX ET MÉDITERRANÉENS (hebdomadaire)
ED. MOREUX
190, Bld Hausmann – 75008 PARIS

OLÉAGINEUX
IRHO/CIRAD
B.P. 5035
34032 MONTPELLIER Cedex

PERSPECTIVES AGRICOLES (mensuel)
Les éditions et publications agricoles et françaises
3, rue des frères Perier – 75116 PARIS

PHYTOMA DÉFENSES DES VÉGÉTAUX (mensuel)
Asso. Nat. pour la protection des plantes
26, rue Danielle Casanova – 75002 PARIS

REVUE D'ÉLEVAGE ET DE MÉDECINE VÉTÉRINAIRE DES PAYS TROPICAUX
I.E.M.V.T
10, rue Pierre-Curie
94704 Maisons-Alfort Cedex

REVUE GÉNÉRALE DES CAOUTCHOUCS ET PLASTIQUES
IRCA/CIRAD
5, rue Jules Lefebvre – 75009 PARIS

SÉLECTION «AGRIDOC INTERNATIONAL»
BDPA-SCETAGRI
27, rue Louis Vicat
75738 PARIS Cedex 15

TROPICULTURA (trimestriel)
AGRIOVERSEAS
183, avenue Louise
B - 1050 Bruxelles
Belgique

QUELQUES BANQUES DE DONNÉES

• **AGRICOLA**
Information Systeme Division. USA
Serveurs : DIALOG ; BRS ; DIMDI

• **AGRIS**
FAO/Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Italie.
Serveurs : IRS-ESA ; DIMDI ; DIALOG.
Disponible sur CD-ROM.

• **CAB**
Commonwealth Agricultural Bureaux International. Royaume Uni.
Serveurs : IRS-ESA ; DIALOG ; DIMDI ; CABI ; BRS ; CAN/OLE ; STN.
Disponible sur CD-ROM.

• **IALINE**
Centre de documentation des Industries utilisatrices de produits agricoles. France.
Serveurs : QUESTEL

• **IBISCUS**
Association Ibiscus. France
Serveur : SUNIST
Accès vidéotex

• **PASCAL** (AGROLINE ; ZOOLINE)
INIST. CNRS. France
Serveurs : QUESTEL ; IRS-ESA
Accès vidéotex et sur CD-ROM

• **RESAGRI**
Réseau des organismes agricoles pour une documentation technique, socio-économique, juridique et financière. France.
Serveur : SUNIST
Accès vidéotex.

• **SESAME** (CD-ROM)
BDPA-SCETAGRI ; CIRAD ; Faculté de Gembloux ; INRA ; ISRA ; ORSTOM

• **TROPAG**
Royal Tropical Institute. Pays-Bas
Serveur : ORBIT
Disponible sur CD-ROM.

ANNEXE III

INDEX DES SIGLES

A.C.C.T.	Agence de Coopération Culturelle et Technique
A.C.D.I.	Agence Canadienne pour le Développement International
A.C.P.	États d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique associés à la C.E.E.
A.C.T.A.	Association de Coordination Technique Agricole
A.D.E.P.T.A.	Association pour le Développement des Échanges de Produits et Techniques Agro-alimentaires
A.D.R.A.O. (WARDA)	Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest
A.F.A.S.A.	Assistance Française pour l'Amélioration des Systèmes vivriers Après récolte dans les pays chauds
A.F.D.I.	AgriculteursFrançais et Développement International
A.F.E.I.D.	Association Française pour l'Étude des Irrigations et du Drainage
A.F.N.O.R.	Association Française de Normalisation
A.G.C.D.	Administration Générale de la Coopération au Développement (Belgique)
A.G.R.H.Y.M.E.T.	Programme d'Agrométéorologie et hydrologie opérationnelle (Sahel)
A.I.D. (IDA)	Association Internationale de Développement (filiale de la BIRD)
A.I.O.N.P.	Association Internationale pour l'Optimisation de la Nutrition des Plantes
A.L.A.D.	Programme de Développement agricole des terres arides
A.M.I.R.A.	Amélioration des Méthodes d'Investigation en milieux informels et Ruraux d'Afrique, Asie et Amérique Latine
A.P.C.	Alliance des Pays Producteurs de Cacao

A.P.I.C.A.	Association pour la Promotion des Initiatives Communautaires Africaines
A.S.E.C.N.A.	Association pour la Sécurité de la Navigation Aérienne
A.S.I.C.	Association Scientifique Internationale du Café
A.U.D.E.C.A.M.	Association Universitaire pour le Développement de l'Enseignement et de la Culture en Afrique et à Madagascar
A.U.P.E.L.F.	Association des Universités Partiellement ou Entièrement de Langue Française
B.A.D.	Banque Africaine de Développement
B.A.D.E.A.	Banque Arabe pour le Développement Économique de l'Afrique
B.C.E.A.O.	Banque Centrale des États de l'Afrique de l'Ouest
B.C.E.O.M.	Bureau Central d'Études pour les Équipements Outre-Mer
B.D.E.A.C.	Banque de Développement des États de l'Afrique Centrale
B.D.P.A.-SCETAGRI	Bureau pour le Développement de la Production Agricole. – Aménagement, inventaire et gestion
B.E.A.C.	Banque des États de l'Afrique Centrale
B.E.I.	Banque Européenne d'Investissement
B.I.D.	Banque Islamique de Développement
B.I.E.	Bureau International de l'Éducation
B.I.R.D.	Banque Internationale pour la Reconstruction et le le Développement
B.I.T.	Bureau International du Travail
B.O.A.D.	Banque Ouest Africaine de Développement
B.R.G.M.	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
B.U.R.G.E.A.P.	Bureau de Géologie Appliquée
C.A.F.	Coût, Assurance, Frêt (ou CIF)
CARDI	Caribbean Agricultural Research and Development Institute
CATIE	Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza
C.B.L.T.	Commission du Bassin du Lac Tchad
C.C.C.E.	Caisse Centrale de Coopération Économique

C.D.C.	Commonwealth Development Corporation
C.E.A.	Commission Économique pour l'Afrique
C.E.A.O.	Communauté Économique de l'Afrique de l'Ouest
C.E.B.V.	Communauté Économique du Bétail et de la Viande
C.E.D.E.A.O.	Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest
C.E.E.	Communauté Économique Européenne
C.E.E.A.C.	Communauté Économique des États de l'Afrique Centrale
C.E.E.M.A.T.	Centre d'Étude et d'Expérimentation du Machinisme Agricol Tropical (CIRAD)
C.E.G.E.T./C.N.R.S.	Centre d'Études de Géographie Tropicale
C.E.M.A.G.R.E.F.	Centre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
C.E.P.G.L.	Communauté Économique des Pays des Grands Lacs
C.E.S.A.O.	Centre d'Études économiques et Sociales d'Afrique de l'Ouest
C.F.C.E.	Centre Français du Commerce Extérieur
C.F.D.T.	Compagnie Française pour le Développement des fibres Textiles
C.I.A.T.	Centre International d'Agriculture Tropicale (Colombie)
C.I.D.A.R.C.	Centre d'Information et de Documentation en Agronomie des Régions Chaudes (CIRAD)
C.I.D.A.T.	Centre d'Informatique appliquée au Développement et à l'Agriculture Tropicale (Belgique)
C.I.D.R.	Compagnie Internationale de Développement Rural
C.I.E.H.	Centre Inter-Africain d'Études Hydrauliques
C.I.F.	Cost. Insurance, Freight (ou CAF)
C.I.H.E.A.M.	Centre International des Hautes Études Agronomiques Méditerranéennes
C.I.L.S.S.	Comité permanent Interétats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
C.I.M.M.Y.T.	Centre International d'Amélioration du Maïs et du Blé (Mexique)
C.I.P.	Centre International de la Pomme de Terre (Pérou)
C.I.P.E.A. (ILCA)	Centre International pour l'Élevage en Afrique (Addis-Abeba)

C.I.R.A.D.	Centre de coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement. Ses départements : C.E.E.M.A.T., C.I.D.A.R.C., C.T.F.T., D.S.A., G.E.R.D.A.T., I.E.M.V.T., I.R.A.T., I.R.C.A., I.R.C.C., I.R.C.T., I.R.F.A., I.R.H.O. (*Cf. ordre alphabétique*)
C.I.R.A.F. (ICRAF)	Conseil International pour la Recherche en Agroforesterie (Kenya)
C.L.E.	Centre de Liaison pour l'Environnement (Kenya)
C.N.C.A.	Caisse Nationale de Crédit Agricole
C.N.E.A.R.C.	Centre National d'Études Agronomiques des Régions Chaudes
C.N.R.S.	Centre National de la Recherche Scientifique
C.N.R.Z.	Centre National de Recherches Zootechniques
C.N.U.C.E.D.	Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement
C.R.D.I.	Centre de Recherches pour le Développement International (Canada)
C.T.A.	Centre Technique de coopération Agricole et rurale (ACP-CEE convention de Lomé)
C.T.F.T.	Centre Technique Forestier Tropical (CIRAD)
C.U.M.A.	Coopérative d'Utilisation du Matériel Agricole
D.A.N.I.D.A.	Agence Danoise pour le Développement International
D.A.T.A.R.	Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale
D.S.A.	Département Systèmes Agraires (CIRAD)
E.C.A.F.A. (CEAEO)	Commission Économique pour l'Asie et l'Extrême Orient (Bangkok)
E.M.C.	Entreprise Minière et Chimique
E.N.D.A.	Environnement et Développement du Tiers-monde
E.N.G.R.E.F.	École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts
E.N.S.A.	École Nationale Supérieure Agronomique
E.S.A.T.	École Supérieure d'Agronomie Tropicale
F.A.C.	Fonds d'Aide et de Coopération
F.A.D.	Fonds Africain de Développement

F.A.D.E.S.	Fonds Arabe pour le Développement Économique et Social
F.A.O. (= OAA)	Organisation des N.U. pour l'alimentation et l'agriculture
F.A.S.A.S.A.	Fonds d'Action Sociale pour l'Aménagement des Structures Agricoles
F.D.E.S.	Fonds de Développement Économique et Social
F.E.D.	Fonds Européen de Développement
F.E.O.G.A.	Fonds Européen d'Orientation et de Garantie Agricole
F.I.D.A.	Fonds International de Développement Agricole
F.I.D.O.M.	Fonds d'Investissement des Départements d'Outre-Mer
F.I.P.A.	Fédération Internationale des Producteurs Agricoles
F.M.I.	Fonds Monétaire International
F.N.G.P.C.	Fédération Nationale des Groupements de Protection des Cultures
F.O.B.	Free On Board
F.O.R.M.A.	Fonds d'Orientation et de Régularisation des Marchés Agricoles
G.A.E.C.	Groupement Agricole d'Exploitations en Commun
G.A.T.T.	General Agreement on Tariff and Trade
G.C.R.A.I.	Groupement consultatif pour la Recherche Agronomique Internationale
G.E.R.D.A.T.	Groupement d'Études et de Recherches pour le Développement de l'Agronomie Tropicale (CIRAD)
G.R.E.T.	Groupe de Recherches et d'Échanges Technologiques
G.R.I.D.A.M.E.T.	Groupe Recherche Industrie pour le Développement Agro-alimentaire Méditerranéen et Tropical
G.T.Z.	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusanenarbeit
H.C.R.	Haut Commissariat (des Nations Unies) pour les Réfugiés
I.A.M.M.	Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (CIHEAM)
I.B.R.A.	International Bee Research Association (Association internationale de recherche apicole)

I.B.S.R.A.M.	International Board for Soil Research and Management incorporated (Conseil international pour la recherche pédologique et la gestion du sol)
I.C.A.R.D.A.	International Center for Agricultural Research in Dry Areas (Centre international de recherche agricole dans les zones arides)
I.C.R.A.	International Course on Research for Agricultural development (Cours international sur la recherche pour le développement agricole)
I.C.R.A.F. (CIRAF)	International Council for Research in Agroforestry (Kenya)
I.C.R.I.S.A.T.	Centre International de Recherches sur la culture des zones Tropicales semi-arides
I.E.M.V.T.	Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux (CIRAD)
I.F.C.C.	Institut Français du Café, du Cacao et autres plantes stimulantes
I.G.A.D.D.	Autorité inter-gouvernementale de lutte contre la sécheresse et pour le développement en Afrique orientale
I.G.N.	Institut Géographique National
I.I.M.I.	Institut International de Management de l'Irrigation
I.I.T.A.	Institut International pour l'Agriculture Tropicale (Ibadan)
I.L.C.A.	Voir C.I.P.E.A.
I.N.A.	Institut National Agronomique
I.N.A.D.E.S.	Institut Africain pour le Développement Économique et Social
I.N.R.A.	Institut National de la Recherche Agronomique
I.N.S.E.E./COOP.	Institut National de la Statistique et des Études Économiques. – Coopération
I.P.D.	Institut Parafricain pour le Développement
I.R.A.M.	Institut de Recherches et d'Applications des Méthodes de développement
I.R.A.T	Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières (CIRAD)
I.R.C.A.	Institut de Recherches sur le Caoutchouc (CIRAD)

I.R.C.C.	Institut de Recherches du Café et du Cacao (CIRAD)
I.R.C.T.	Institut de Recherches du Coton et des Textiles exotiques (CIRAD)
I.R.E.D.	Innovations et Réseaux pour le Développement
I.R.F.A.	Institut de Recherches sur les Fruits et Agrumes (CIRAD)
I.R.H.O.	Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux (CIRAD)
I.R.R.I.	Institut International de Recherches Rizicoles (Philippines)
I.S.A.B.U.	Institut des Sciences Agronomiques du Burundi
K.F.W.	Kreditanstaft für Wiederaufbau (R.F.A.)
N.I.O.	Banque néerlandaise d'investissement pour les pays en développement
N.O.R.A.D.	Agence norvégienne pour le Développement International
O.A.A.	Voir FAO
O.A.C.T.	Organisation Africaine de Cartographie et de Télédétection
O.A.M.C.A.P.	Organisation Africaine et Malgache du Café
O.C.A.M.	Organisation Commune Africaine et Mauricienne
O.C.D.E.	Organisation de Coopération et de Développement Économique
O.C.LA.LAV.	Organisation Commune de Lutte Anti-acridienne et Anti-aviaire
O.D.I.	Overseas Development Institute
O.D.N.R.I.	Overseas Development Natural Resources Institute
O.I.A.C.	Organisation Interafricaine du Café
O.I.C.M.A.	Organisation Internationale contre le Criquet Migrateur Africain
O.M.M.	Organisation Météorologique Mondiale
O.M.S.	Organisation Mondiale de la Santé
O.M.V.G.	Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Gambie
O.M.V.S.	Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal
O.N.I.C.	Office National Interprofessionnel des Céréales
O.N.U.	Organisation des Nations Unies

O.N.U.D.I.	Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel
O.R.S.T.O.M.	Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération
(O.S.S.	Observatoire du Sahara et du Sahel)
O.U.A.	Organisation de l'Unité Africiane
P.A.M.	Programme Alimentaire Mondial
P.E.R.T.	Program Evaluation and Review Technique
P.N.B.	*Produit National Brut*
P.R.I.F.A.S.	Programme de Recherche Interdisciplinaire Français sur les Acridiens du Sahel
P.N.U.D.	Programme des Nations Unies pour le Développement
P.N.U.E.	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
K.I.T.	Koninkijk Instituut voor de Tropen (Royal Tropical Institute) (Pays-Bas)
R.C.B.	*Rationalisation des Choix Budgétaires*
R.E.S.A.D.O.C.	Réseau Sahélien d'information et de Documentation scientifiques et techniques
S.A.T.E.C./Dévelop.	Société d'Aide Technique / Développement
S.A.U.	*Surface Agricole Utile*
S.E.D.E.S.	Société d'Études et de Développement Économique et Social
S.E.T.I.F.	Société d'Études Techniques, Industrielles et Frigorifiques
S.F.D.	Fonds Saoudien de Développement
S.I.C.A.	Société d'Intérêt Collectif Agricole
S.I.D.A.	Office suédois de développement international
S.M.U.H.	Coopération et Aménagement (Agence française pour l'aménagement et le développement à l'étranger)
S.O.G.R.E.A.H.	Société Grenobloise d'Études et d'Applications Hydrauliques
S.O.P.E.X.A.	Société pour la promotion de l'exportation des Produits Agricoles Alimentaires
S.T.H.	Surface Toujours en Herbe

S.T.R.C.	Scientifical and Technical Research Commission (O.U.A.)
T.P.I.	Tropical Products Institute
U.B.T.	Unité de Bétail Tropical
U.D.E.A.C.	Union Douanière et Économique de l'Afrique Centrale
U.G.B.	*Unité de Gros Bétail*
U.N.E.S.C.O.	United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. Organisation des N.U. pour l'Education, la Science et la Culture (Paris)
U.S.A.I.D.	United States Agency for International Development (USA)
U.Z.O.	Unité Zootechnique Ovine
W.A.R.D.A.	Voir A.D.R.A.O.

ANNEXE IV

ADRESSES

On trouvera ci-dessous les adresses des principaux organismes français œuvrant dans les domaines de la recherche et du développement agricoles.

1. MINISTÈRES FRANÇAIS

Ministère de la Coopération et du Développement : 20, rue Monsieur, 75700 Paris. Tél. : (1) 47 83 10 10.

Ministère des Départements et Territoires d'outre-mer : 27, rue Oudinot, 75700 Paris. Tél. : (1) 47 83 01 23.

Ministère de l'Agriculture et de la Forêt : 78, rue de Varenne, 75007 Paris. Tél. : (1) 49 55 49 55.

Ministère des Affaires étrangères : 37, quai d'Orsay, 75700 Paris. Tél. : (1) 47 53 53 53 et 21 bis, rue de la Pérouse, 75775 Paris Cedex 16. Tél. : (1) 40 66 66 99.

Ministère de la Recherche et de la Technologie : 1, rue Descartes, 75005 Paris. Tél. : (1) 46 34 35 35.

CCCE (Caisse centrale de coopération économique) : 35-37, rue Boissy-d'Anglas, 8-10, Cité du Retiro, 75379 Paris Cedex 08. Tél. : (1) 40 06 31 31.

2. PRINCIPAUX ORGANISMES FRANÇAIS DE RECHERCHE AGRONOMIQUE

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (ex GERDAT) - Siège à Paris : 42, rue Scheffer, 75116 Paris. Tél. : (1) 47 04 32 15.
Laboratoires et départements à Montpellier : avenue du Val-de-Montferrand, B.P 5035, 34032 Montpellier Cedex. Tél. : 67 61 58 00.

Ses départements :

CEEMAT : Département Machinisme agricole (Centre d'études et d'expérimentation de machinisme agricole), 73, rue Jean-François-Breton, Domaine de Lavalette, 34000 Montpellier. Tél. : 67 61 57 00.

CTFT : Département forestier (Centre technique forestier tropical), 45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle, 94736 Nogent-sur-Marne Cedex. Tél. : (1) 43 94 43 00.

DSA : Département Systèmes agraires, impasse Montferrier, 34000 Montpellier. Tél. : 67 54 22 55.

IEMVT : Département Elevage et Médecine vétérinaire des pays tropicaux, 10, rue Pierre-Curie, 94704 Maisons-Alfort Cedex. Tél. : (1) 43 68 88 73.

IRAT : Département Cultures vivrières, 45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle, 94736 Nogent-sur-Marne Cedex. Tél. : (1) 43 94 43 00.

IRCA : Département Caoutchouc, 42, rue Scheffer, 75116 Paris. tél. : (1) 47 04 32 15.

IRCC : Département Café, Cacao, Thé, 42, rue Scheffer, 75116 Paris. Tél. : (1) 47 04 32 15.

IRCT : Département Coton et Textiles exotiques, 6, rue du Général Clergerie, 75116 Paris. Tél. : (1) 45 53 16 84.

IRFA : Département Fruits et Agrumes, 6, rue du Général Clergerie, 75116 Paris. Tél. : (1) 45 53 16 92.

IRHO : Département Oléagineux à Montpellier (adresse CIRAD).

PRIFAS : Département Acridologie et Ecologie opérationnelle à Montpellier (adresse CIRAD).

INRA : Institut national de la recherche agronomique : 147, rue de l'Université, 75341 Paris Cedex 07. Tél. : (1) 42 75 90 00.

ORSTOM : Institut français de la recherche scientifique pour le développement en coopération : 213, rue Lafayette, 75480 Paris Cedex 10. Tél. : (1) 48 03 77 77.

3. PRINCIPAUX ORGANISMES FRANÇAIS D'ÉTUDES ET DE DÉVELOPPEMENT

AFVP : Association française des Volontaires du progrès : B.P 207, 91311 Monthléry Cedex. Tél. : (1) 69 01 10 95.

BCEOM : Société française d'ingénierie : 15, square Max-Hymans, 75741 Paris Cedex 15. Tél. : (1) 42 79 48 00.

ANNEXE V

INDEX GÉNÉRAL

A

**Abaca* : 804, 1017
Abaque de Criddle et Davis : 347
Abaque de Fischer : 1445
Abattage : 448
Abeille : 1304-1305
Abrasin (Huile d') : 867
Abreuvement : 1076-1077, 1106
Abreuvoir : 1276
Abri météorologique : 92
**Acacia albida* : 17, 585
**Acacia catechu* : 1014
**Acacia decurrens* : 1014
**Acacia linaerioides* : 1061
Acanthocéphalose : 1223
Acaricides : 258-270, 1236-1237
Acaricides (utilisation des) : 270
Acarioses : 1228-1229, 1308
Acide borique : 1209, 1211
Acide formique : 1064
Acides fulviques : 144
Acides humiques : 143, 144
Acidité : 235, 252
Acidité d'échange : 146
Acidité des sols : 146
Acridicides : 290
Acrisols : 174
Actif agricole : 1353
Actinomycose lymphatique : 1246-1247
Adhérence (tracteurs) : 431
Adhésif : 255
Adjuvant : 255
Affections (aviculture) : 1299
Affouragement : 17
African foxtail : 1111
Agalaxie contagieuse : 1242
Agave : 1045
Age de réforme (animaux) : 1124
Age de reproduction (animaux) : 1158
Age des animaux : 1120-1122
Aggloméré : 517
Agro foresterie : 574
Agroclimatologie : 45,93
Agroforêt : 595,596
Agrostidée : 644, 646
Agrume : 767
Ajustement linéaire : 1442
Ajustement non linéaire : 1444
Ajutages : 335
Alcalinite (engrais) : 235
Alcool (désinfectant) : 1209, 1211
Aldéhyde formique : 1209, 1211
Aleurites : 864
Alevinage : 1323
Alevins : 1330, 1331
Alfa : 1015
Alidade : 107, 110
Alimentation dromadaire : 1097
Alimentation hydrique : 77, 81, 90
Alimentation monogastrique : 1082, 1083
Alimentation porcs : 1082
Alimentation ruminants : 1058
Alimentation volailles : 1082, 1091
Allèle : 318
**Allium cepa* : 854
**Allium porrum* : 859
Allogamie : 304, 318
Alphabet grec : 1491
Altimétrie : 103, 111
Amarante hybride (*Amaranthus hybridus) : 846

Aménagement de parcelle : 603
Amende cajou : 782
Amendement : 252
Amendement calcaire : 192, 232
Ammoniac (traitement à l') : 1061
Ammonium quaternaire : 1209, 1211, 1212
Ampère : 1489
Amylacée : 642
Anacardier, *Anacardium occid. : 782
Analyse : 252, 1396
Analyse de la variance : 1473
Analyse des sols : 147, 150
Analyse des sols (normes) : 151
Analyse fonctionnelle : 1399
Analyse granulométrique : 147
Ananas : 789
Anaplasmose : 1230
Andainage : 434, 448
Andosol : 172, 174
**Andropogon gayanus* : 1059, 1103, 1115
**Andropogon muricatus* : 935
**Andropogon* spp : 1104
Andropogonée : 646
Anes : 1097, 1204
Anémie infectieuse (cheval) : 1242
Anémomètre : 73
Anémophile : 318
Angles d'entrure : 384, 465
Anguilluloses : 1224
Animaux de trait : 1213-1215, 1144, 1145
Animaux domestiques (effectif) : 1174-1179
Anis étoilée (ou Badiane) : 933
Ankylostomidoses : 1219
Anthèse : 318
Anticoagulants (intoxication par) : 300-301
Antiparasitaire (lutte) : 253-302
Antiparasitaires polyvalents : 1234-1235
Antiseptiques : 1211-1212
Anthofle : 750, 754
Apiculture : 1301
**Apis mellifica Adansonii* : 1305-1306
**Apis mellifica Adansonii* (désertion) : 1306
**Apis mellifica Adansonii* (essaimage) : 1306
Apports alimentaires bovins : 1067, 1068
Apports alimentaires caprins : 1072
Apports alimentaires ovins : 1070-1071
Aptitude culturale : 163, 168
Arabica : 975, 983
Arachide : 839, 867
Arachide (récolte) : 471
**Arachis hypogea* : 836, 864
Arche mobile : 1278
Arenosol : 147
Argile noire tropicale : 181
**Aristida mutabilis* : 1059, 1104
Arpentage : 100
Arracheuse, arrachage : 376, 434
Arrosage : 331, 623
Arrow Root : 642
Arsenicage des cuirs : 1148
Arthropodes (lutte contre) : 1233, 1236-1237
Ascaridiose : 1217-1218, 1221, 1222, 1234, 1235
Ascardiose aviaire : 1301
Aspersion (irrigation par) : 356
Assainissement agricole : 365
Assimilation chlorophylienne : 47
Association agriculture/élevage : 587, 588
Association culturale : 23, 589
Association syndicale : 362
Assolement : 191
Atiéké : 665, 671
Attapulgite minéral : 140
Attelage (animaux) : 380
Attelage (tracteurs) : 420
Aubergine : 836, 839, 843
Autocide (lutte) : 257
Autofécondation (inbreeding) : 318
Autogamie : 304, 318
Aviculture : 1173, 1261
Avion (traitement aérien) : 487, 490
Avocatier : 799
Avortement épizootique : 1243
Azaouak (zébu de l') : 1184-1185

B

Babésioses : 1230-1231
Bac à évaporation : 71, 72
Back Cross : 313, 318
Badiane (ou anis étoilé) : 933, 953
Bagasse : 938, 953
Bains (insecticides) : 1238-1240
Balances (commerciales des paiements) : 1409
Balisier : 642
Banane : 1083
Bananier : 804
Bancoulier : 864
Bande d'absorption : 194, 195
Banquette : 190, 195, 198-202, 205, 213, 220
Banquette d'apsorption (table de calcul) : 208, 209
Banquette de diversion : 211
Baoulé (taurins) : 1189
Barrage : 217
Barrière australienne : 573
Barymétrie : 1133
Baselle : 847
**Basella alba* : 847
Bases totales agronomiques : 147
Basicité : 252
Bassin (irrigation) : 350
Bastaing : 519, 536
Bât : 395
Bâtiments (désinfection) : 1210-1211
Battage : 491
Batteuse : 376-378
Baume de cajou : 786, 789
Benjoin : 935
Bergamote : 768
Berges : 215
Bergeries : 551
Berckshire (porcs) : 1205
Bermuda grass : 1111, 1115
Besoins pratiques (en eau des plantes) : 327
Besoins théoriques (en eau des plantes) : 326
Béton armé : 551
Béton de ciment : 507
Béton de propreté : 528
Béton de terre : 516
Betterave : 839, 956
Bigaradier : 768, 769
Bilan hydrique : 45, 81
Bilan ionique : 161
Bilharziose: 1219, 1340
Biliaire : 373
Billon : 86, 195, 196
Billoneuse : 193
Binage : 251, 387, 434
Bineuse : 376, 387
Biomasse : 494
Bipyridyls (intoxication par) : 300
**Bixa orellana* : 1014
Bleu de méthylène : 1209, 1211
Blue Tongue : 1242
Boehmeria : 1040
Boeuf de trait : 1140
Bois de Campêche : 1014
Bois de construction : 519
Bois de santal : 1014
Bois jaune : 1014
Bois orthotrope : 307
Bois plagiotrope : 307
Boisement steppique : 201
Bombax : 1038
Borassus : 965, 1043
Borate de soude : 1209
Bore : 227
Bororo (zébu M') : 1187
**Boswellia carteri* : 935
Botulisme : 1242-1243, 1255
Boucherie (professionnels de la) : 1132
Boucle (pour animaux) : 1119
Bouillie bordelaise, bourguignone, Ibadan : 271
Boulette : 626
Bourgou : 646, 1111, 1116
Bourrelet : 195, 196, 200-202, 213, 220
Boussole : 107, 109
Bout blanc (riz) : 704
Bouts blancs (canne à sucre) : 939
Bouteur : 445, 453
Bouturage : 306, 628
Bovins (apports alimentaires) : 1067-1069, 1078-1080
Bovins (race de) : 1183
Bovins africains : 1183

Bovins de Madagascar : 1191
Bovins des Indes : 1193
**Brachiaria brizanthe* : 1115
**Brachiaria decumbens* : 1111
**Brachiaria mutica* : 1110, 1115
**Brachiaria ruziziensis* : 1110, 1115
**Brassica oleracea* : 848
Bricole (attelage) : 380
Briques cuites : 518
Brise-vent: 50, 189, 623
Bronchite infectieuse aviaire : 1291-1299
Brucellose : 1124, 1243
Brûlis : 19
Budget familiaux : 1467
Buffles's grass : 1112
Bulk blending : 239
Bulldozer : 445, 450
Bunch grass : 1111
Buttage : 250, 387, 434
Butteuse : 193
**Butyrospermum parkii* : 895

C

Cabosse : 962
Cacao, cacaoyer : 957
Cachou : 1014
Café (traitement) : 492
Caféier, caféine : 975
Cage flottante : 1334
Caisse de capture (pisciculture) : 1328
**Cajanus cajan* : 1118
Calage : 93
**Calamus* spp. : 1044
Calant (irrigation) : 345
Calcium : 227
Calendrier de la pépinière : 1398
Cambium : 310
Cambisol : 174
**Camellia sinensis* : 1005
Canadiennage : 433
**Cananga odorata* : 935
Canard (élevage) : 1285
Candela : 1490, 1491
Canéphoroïdes : 983
Caneva : 109
**Canna edulis* : 642
Canne à sucre : 938
Canne à sucre (mélasse) : 1062
Canne à sucre (récolte) : 475
Cannelier : 748
Canon d'arrosage : 358
Caoutchouc : 731, 747
Capacité au champ : 142
Capacité d'échange : 145
Capacité de charge (pâturage) : 1102-1103
Capacité de rétention en eau : 142, 329
Capacité utile (sol) : 330
Capillariose : 1301
Caprins (apports alimentaires) : 1072
Capsaïcine : 756
Capsicum annuum : 860
Capsicum frutescens : 755, 858
Caracoli : 976
Caractère : 318
Caractéristique de dispersion : 1432
Caractéristique de forme : 1433
Caractéristique de position : 1431
Carbamates (intoxication par) : 298
Carcasse : 1130
Cardamome : 749
Carence : 252
**Carica papaya L.* : 831
Carotte : 839, 842
Caroubier : 956
Carpe commune : 1322
Carré latin : 1476-1477
Carte de base : 97
Carte dérivée : 97
Carte générale : 97
Cartes pédologiques : 183
Carte thématique : 97
Carthame, carthamine : 880
**Carthamus* : 880
Cartographie : 1103
Caryotype : 318
Case lysimétrique : 71
Cash flow : 1362
Cassava : 665
**Cassia albida* : 584
Castanozem : 174
Castration : 1158
Catabolisme : 49

Cation : 145
Cayendo : 373
Cédratier : 768, 770
Ceiba : 1038
Céleri : 839
**Cenchrus biflorus* : 1105
**Cenchrus ciliaris* : 1110, 1111, 1115
**Centrosema pubescens* : 1118
Cénurose du mouton : 1226-1227
Cercaires : 1340
Céréales (récolte) : 472
Céréales (transformation) : 491
Cernage de planche : 625
Certificat phytosanitaire : 301
Cestodoses larvaires : 1226-1227, 1234
Chaînage : 530
Chaleur (facteur climatique) : 46
Chaleurs : 1160
Chameaux (races) : 1208
Chamelle : 1139
Champs : 1351
Chanvre de Manille : 1017
Chape : 532
Charbon bactéridien : 1244
Charbon symptomatique : 1244
Charge : 1361, 1412
Charpente : 534
Charrette : 395
Charrue : 383, 385, 459
Charrue-disques : 180, 223, 249, 461
Charrue japonaise : 396
Charrue-socs : 180, 193, 223, 249, 459
Charrue tourbillon : 223
Chaux : 505, 1209, 1210
Chayotte : 848
Chélate : 252
Cheminement : 101, 109
Cheptel (amélioration du) : 1180
Cheptel (observation sur) : 1123, 1172
Chérelle : 962
Chernozem : 174
Cheval arabe : 1203
Cheval barbe : 1203
Cheval Dongolaw : 1203
Chevaux (alimentation) : 1097
Chevaux (races des) : 1202
Chevaux-vapeur (conversion) : 1499
Chèvre : 1139, 1201
Chicorée : 839
Chiendent : 1111, 1115
Chikwangue : 671
Chillies : 756
China Grass : 1040
Chips : 666
Chloridée : 644, 646
**Chloris gayana* : 1110
Chlorose : 252
Chocolat : 971
Choix des races : 1139
Choléra aviaire : 1299
Chou : 842
Chou cabu : 839
Chou palmiste : 849
Chou vert : 848
Chouchoute : 848
Christophines : 590
**Chrysichthys nigrodigitatus* : 1323
Chromosomes : 318
**Chrysanthemum* : 833
Ciment : 505
Cimentation : 141
**Cinnamonum* : 748
Cinquième quartier : 1130
Circuits commerciaux (cheptel) : 1182
Cire : 1302-1303
Citral : 934
Citrae : 767
Citronellol : 933
Citronnelle : 933
Citronnier : 768, 770
**Citrus* : 767, 769
Clan : 1487
Clapier : 1287
Clarias : 1323
**Clarias lazera* : 1329, 1330
Classement des cuirs : 1149
Classement des terrains : 219
Classification des sols : 167, 171
Clavelée : 1244-1255
Cleaner-dozer : 450
Climat : 45
Climat (action sur l'élevage) : 1169
Climats africains : 51
Climat édaphique : 45
Climatologie : 45

Clisimètre : 108, 110-112, 221
Cloison : 531
Clone : 306, 317, 318, 732
Clôture électrique : 572
Cobalt : 228
Coccidiose aviaire : 1291, 1301
Coccidioses du bétail : 1223-1224
Cocotier : 882
Cocos nucifera : 882
Coefficient cultural : 80
Coefficient d'anisotropie : 169
Coefficient d'écoulement : 368
Coefficient de corrélation : 1444
Coefficient de Pearson : 1433
Coefficient de rugosité : 210, 368
Coefficient de ruissellement : 367
Coefficient de variation : 1432
Coefficient udométrique : 367
Coffea (arabica, canephora) : 975
Coffrage : 515
Coïr : 891, 1015
Coix lacryma-jobi : 644, 647
Cola, colatier : 993
Collecte des données : 1365
Collecteur : 369
Collier : 380
Collimateur : 108, 111, 112
Colloïdes minéraux : 138, 145
Colluvion : 196
Colocase : 728
Colocasia : 728
Combustibles (pouvoir calorifique) : 562
Commiphora abyssinica : 935
Compactage (materiel de) : 457
Comparaison de distribution : 1441
Comparaison des paramètres : 1440
Compatibilite : 252
Complémentation : 1081
Complexe absorbant : 145
Comportement sexuel des femelles : 1159
Comptabilité d'entreprise : 1416-1430
Compte d'exploitation : 1361, 1408, 1417
Compte-tour : 423
Compte trésorerie : 1417
Concentration : 252, 254
Concombre des Antilles : 839
Conductivité (mesure de salinité) : 161
Conductivité hydraulique : 169
Consanguinité : 318
Conservation des fourrages : 1063
Conservation des sols : 187
Consommation en eau : 325
Construction : 501-573
Contrôle d'enquête : 1454
Contrôle laitier : 1136
Coordonnées bipolaires : 102, 110
Coordonnées polaires : 100
Coordonnées rectangulaire : 99, 110
Coprah : 892
Corchorus : 1036
Corrélation : 1442
Coryza gangréneux : 1245
Cossette : 671
Coton (récolte) : 471
Coton (sous-produits) : 1062, 1075
Cotonnier : 1017
Cotton Combine : 1023
Cotton Picker : 471, 1023
Cotton Stripper : 472, 1023
Coulomb : 1491
Coupe : 448
Coupeuse de fourrage : 376
Coupure (cuir) : 1149
Courbe de Gauss : 1434
Courbe de niveau : 105
Courge, courgette : 839
Coût réel et complet (full cost) : 1429
Coût variable moyen (direct costing) : 1429
Coutelure (cuir) : 1149
Coutre : 384
Couverture (construction) : 538
Couverture du sol : 189
Couvoir : 1293
Cowdriose : 1247-1248
Cracking du goudron : 496
Cresson : 839
Crésyl : 1209, 1211
Croc : 374
Criollo (cacaoyer) : 959
Criquets : 289
Croisement : 1181

Croisement consanguin : 318
Croissance : 252, 1122
Croissance (substances de) : 287
Croît brut : 1360
Croît réel : 1360
Croquis : 98
Cuirs et peaux : 1147, 1212
Cuivre : 228
Cultivar : 313, 317, 318
Cultivateur : 464
Cultures associées : 1351
Culture attelée : 17, 378, 382, 1146, 1213
Culture de rente : 19
Culture de soudure : 13
Cultures fourragères : 1108-1110
Culture in vitro : 629
Culture intercalaire : 1351
Culture spéciale : 641
Culture sur ados : 182
Culture vivrière : 590
Cumin de Malte : 839
Curage : 363, 369
**Curcuma* : 749
Cuvette en demi-lune : 633
Cycle biologique : 597
**Cymbopogon* : 933, 934
**Cynodon dactylon* : 1111, 1115
**Cynodon plectostachyus* : 1111, 1115
**Cynodon niemfuensis* : 1111
**Cyprinus carpio* : 1322
Cysticercoses : 1226

D

Daba : 373
Dah : 1033
Dalles : 515
Damage : 515
Dapog : 697
Datte : 823, 827
Dé : 529, 535
Débit (table de conversion) : 337
Débit caractéristique : 366
Débit fictif continu : 332
Débit réel : 334
Débroussailleuse, débroussailleur : 441, 451, 452
Décaféination : 991
Décapeuse : 454, 455
Déchaumeuse : 249, 462, 463
Décoffrage : 516
Décortiqueur, décorticage : 377, 491
Défense des cultures : 480
Défoncement : 458
Déficit hydrique : 74
Défonceuse : 447
Défriche-brûlis : 19, 20
Défrichement : 445, 447, 450
Degré alcoométrique : 1490
Degré centigrade : 1502
Degré Fahrenheit (conversion) : 1502
Degré Kelvin : 1490
Degrés (conversion) : 1512, 1513
Démariage : 624
Démographie animale : 1360
Dengue bovine : 1247
Dénombrement : 1446
Densité : 1507
Densité (sol) : 327
Densité apparente : 142, 327, 330, 332
Densité de semis : 1519
Densité réelle : 142, 327
Dépendance statistique : 1442
Dépenses d'exploitation : 1401
Dépouille (animaux) : 1148
Dépouillement : 1445, 1466
Dépulpeur à café : 493
Derayure : 197, 198
Dermatophilose contagieuse : 1245-1246
Dermatose nodulaire (bovidés) : 1245
**Derris elliptica* : 837
Descendance : 318
Désherbage : 397
Désinfectants : 1209-1210
Désinsectisation : 569
Désossage : 1132
Dessoucheuse : 447, 450
Destruction des cadavres : 1212-1213
Détection des chaleurs (femelles) : 1160
Développement d'une plante : 252
Déversement (irrigation) : 343
Déversoir : 338
Diagnostic : 252

Diagramme de texture : 138
Dicotylédones herbacées : 1060, 1075
**Digitaria decumbens* : 1116
**Digitaria exilis* : 643
**Digitaria umfolozi* : 1101, 1116
Diguette (construction) : 397
Diluant (pesticide) : 254
Dindon : 1282
Dinitrophénoliques (intoxication par) : 299-300
Dioïque : 304, 315, 318
Dioptrie : 1491
**Dioscorea* : 644
Disjonction : 318
Dispersion (caractéristiques de) : 1432
Dispositif de liaison : 382
Distancemètre : 106, 108
Distribution binomiale : 1435
Distribution de Pearson (table) : 1481, 1482
Distribution de Poisson : 1436
Distribution de Snedecor (table) : 1483-1488
Distribution de Student (table) : 1480
Distribution Galton Mac Alister : 1435, 1436
Distribution hypergéométrique : 1436
Distribution normale : 1435
Distribution par rotation : 361
Dithiocarbamates (intoxication par) : 298, 299
DL 50 : 295
Dolique : 840, 1118
**Dolichos lablab* : 1118
Domaine d'acceptation : 1440
Domaine de rejet : 1440
Données numériques systématiques : 1431
Dose (pesticide) : 254
Dose d'arrosage : 331
Dragage : 448
Drageonnage : 312, 313
Dragline : 453
Drainage, drain : 90, 165, 168, 365, 367, 371, 372
Drèches : 1080
Dressage des boeufs : 1141
Droite de régression : 1443
Dromadaire : 1097-1098, 1207
Dry-farming : 180
Durée d'éclairement : 323
Duroc Jersey (porc) : 1206

E

Eau (facteur climatique) : 48
Eau de capillarité : 329
Eau de gâchage : 506, 507
Eau de surface : 26
Eau gravitaire : 329
Eau oxygénée : 1209, 1212
Eau souterraine : 26
Eau utilisable : 142
Ecart type : 1432
Echantillon (enquête) : 38, 1447
Echantillon botanique : 1101-1102
Echauffe (cuir) : 1149
Echelle (photographie aérienne) : 117
Echelle des cartes : 98
Echelle par nombre de sondages : 186
**Echinochloa crus, crus galli* : 646
**Echinochloa frumentacea* : 643, 646
**Echinochloa* spp. : 646
**Echinochloa stagnina* : 646, 1111, 1116
Eclimètre : 104
Effectif des animaux domestiques : 1145
Efficience de l'irrigation : 327
Egrenage coton (méthode de) : 1027
Egreneuse à maïs : 376
**Elaeis guineensis* : 898
Eléments minéraux (table de conversion) : 245
**Elettaria cardamomum* : 749
**Eleusine coracana* : 644, 646
Elevage : 30, 1358
Elevage du poulet (normes) : 1266
Elevage extensif : 1164, 1359
Elevage intensif : 1166
Elevage intensif (volailles) : 1262 à 1302
Elevage laitier intensif : 1139
Elevage nomade : 1164
Elevage sédentaire : 1165, 1359

Embocagement : 24
Embouche bovine : 1134, 1166
Embouche ovine : 1166
Emissaire : 365, 369
Emigration (cheptel) : 1126
EMP : 40, 41
Empoisonnment des cuirs : 1148
Emulsion photographique : 118, 119-120
Emulsionnant : 255
Encens : 935
Encéphalomyélite aviaire : 1291, 1299
Enclos (pisciculture) : 1336
Enduit : 531
Energie hydraulique : 400
Energie mécanique : 400
Engrais (dosage) : 241
Engrais (solubilité) : 239
Engrais (stockage) : 238
Engrais : 231, 252
Engrais simples / composés : 233
Engrais vert : 191, 229, 251
Enquête : 37, 38
Enquête agricole : 1123, 1365, 1431, 1446, 1463
Enquête budget/consommation : 1357, 1447
Enquête démographique : 1431, 1446, 1455
Enquête pilote : 1453
Enquête statistique : 1446, 1455
Enregistrement données climatologique : 69
Ensilage : 1063
Entaille (marquage animal) : 1119
Entérite paratuberculeuse : 1063
Entomopathogènes (utilisation) : 257
Enzyme : 252
Eolienne : 398
Epandage (irrigation) : 343
Epandage d'engrais : 434
Epices : 748
Equation de Wischmeier : 187
Equerre : 107, 109, 110
Equerre optique : 100
Equins (apports alimentaires) : 1096-1097
Equivalant gramme : 252
Erable : 956
Eragrostis abyssinica : 646
Erosion en nappe : 195
Erosion en ravine : 213, 215
Erosion éolienne : 189
Erosion fluviale : 251
Erosion hydrique : 21
Erosion pluviale : 190
Erreur expérimentale : 1468
Erythrophleum guineense : 1064
Espérance de vie : 1461
Esquisse : 98
Essences arbres : 616
Estimation sur échantillon : 1436
Etable : 541-549, 1215
Etang : 1324-1327
Ethnologie des animaux domest. : 1183
Etiologie : 1290
ETM : 80, 90
ETR : 45, 90
Etriers : 509
Etude des sols : 219
Etuvage (méthode de-riz-) : 712
Eucalyptus, eucalyptol : 933
Eugenia caryophyllus : 750
Eugenol : 750, 754
Euphoria longana : 813
Euterpe oleracea : 593
Evaluation du PH : 146
Evaluation du poids (animaux) : 1133
Evapomètre : 71, 72
Evaporation : 48, 71
Evapotranspiration : 45, 48, 74, 93, 322
Evolution du troupeau : 1128
Excavateur : 453
Expérimentation agronomique : 1431, 1468
Exploitation agricole : 1345
Extensification : 10
Extirpateur : 464
Exutoire : 209, 210, 213, 215, 221

F

Facette paysagère : 601
Façon culturale : 190, 192, 195
Facteur climatique : 45
Facteurs limitants : 225

Faire-valoir direct : 1349
Faire-valoir indirect : 1349
Fanage : 434
Fane d'arachide : 1061, 1075, 1081
Fane de niébé : 1081
Farad : 1491
Farcin (bovidés) : 1246-1247
Farine basse (riz) : 1079, 1083
Fasciolose : 1218, 1234
Faucardage : 363, 369
Fauchage, faucheuse : 377, 434
Faux, faucille : 373, 374
Faux timon : 382
Fécondation : 318
Fécondité : 1123
Fécondité (taux de) : 1156, 1157
Fécule : 643, 665, 687
Femelle reproductrice : 1156
Fer : 228
Fers profilés : 521
Fermage : 1349
Ferme : 534
Ferralsol : 174
Ferrisols : 174
Fertilisation : 252, 627, 633, 1153
Fertilité : 153, 223
Fertilité des sols : 30
Feu de contre-saison : 1108
Feu courant : 1106
Fèce : 1153
Feutrage : 1170
Fève : 839
Fibres (plantes à) : 1014
Fibrographe : 1025
Fiche d'exploitation annuelle : 1377
Fièvre aphteuse : 1247
Fièvre catarrhale : 1242
Fièvre de trois jours : 1247
Figures géométriques : 1514-1518
Fil de clôture : 572
Fil invar : 106
Filage de courbes de niveau : 105
Filarioses : 1227, 1234
Fingerlings : 1330, 1331, 1335, 1336
FIT : 54
Flèche d'abattage : 446
Floculation : 141
Fluvisol : 174
Foins : 1063, 1074, 1079
Fond planimétrique : 98
Fondations : 502, 526
Fongicides : 271-280
Fongicides systémiques : 280
Fonio : 643, 646
Forastero (cacaoyer) : 959
Force de travail : 1352, 1370
Forêt aménagée : 577
Forge : 375
Formation : 35
Formol : 1209
Formule de Bazin : 339
Formule de Crevat : 1133
Formule de Francis : 339
Formule de Ramser : 202, 204
Formule logarithmique : 1133
Formules linéaires : 1133
Fortunella : 767
Fossé : 196, 200, 213, 220
Fosse à purin : 548
Fossé de colature : 368
Fossé de garde : 214
Fossé de protection : 214, 215
Fossé isohypse : 195-197
Fossé ouvert : 367
Foufou : 665, 671
Fouilles : 524
Fourche : 374
Fourrages : 1058-1061
Fourrages (conservation) : 1063
Frais fixes : 443
Frais variables : 444
Fraise (instrument) : 467
Fromager : 1038
Front intertropical : 58, 60
Fumier : 229, 252, 1155
Fumière : 548
Fumure d'entretien : 226
Fumure de redressement : 225
Fumure minérale : 627
Fumure organique : 192, 627

G

Gabion : 218
Gales : 1228-1229, 1235-1237
Gamarawal : 1111

Gambier : 1015
Gamète : 318
Gamétogénèse : 318
Gamétophyte : 319
Gari : 665, 671
Gaz (traitement) : 498
Gazéification : 496
Gazogène : 496-498
Gène : 319
Génération : 319
Génome : 319
Génotype : 307, 319
Geraniol : 933
Géranium rosat : 934
Germoir : 621, 622
Gesce : 839
Gingembre : 749
Gir (zébu) : 1195-1196
Giroflier : 750
Gleysol : 174
*Glycina javanica (*Glycina wighul)* : 1114, 1117
**Glycine max (L) Merrill* : 921
Gobra (zébu) : 1186-1187
Gombo : 839, 849
Goniomètre : 101, 107
Goniographe : 107
**Gossypium* : 1017
Gossypol : 1017
Goutte à goutte (irrigation) : 353, 355
Goutteur : 353
Grader : 456
Gradins : 197, 200, 213, 220
Graisse animale : 1083
Graisse (moteurs) : 436
Graminée alimentaire : 643
Graminées : 1059, 1063, 1074, 1075, 1110-1113, 1115-1118
Greffage: 309, 629
Greffon : 309, 311
Groupe électrogène : 407
Guarana : 995
Guayule : 745
Gutta percha : 747
Gyrobroyeur : 452

H

Habillage : 307, 319
Hache, hachette : 373, 374
Haie fourragère : 24
Haie isohypse : 195
Hangar : 556
Harbronémoses (équidé) : 1221
Harbronémoses cutanées : 1229
Haricot : 839
Haricot vert : 843
Harmattan : 54
Harnachement : 380, 1215
**Harungana madagascariensis* : 1105
Heart water : 1247-1248, 1255
**Helianthus annuus* : 928
Héliographe : 70
Helminthoses du bétail : 1217-1223, 1225-1226
Hématine : 1014
**Hemichromis fasciatus* : 1329, 1330, 1332
Henné : 1015
Henry : 1491
Herbe à éléphant : 1112, 1118
Herbe de Guinée : 1112, 1116
Herbe de Para : 1110, 1115
Herbe du Guatemala : 1112, 1118
Herbicides : 281-286
Hermaphrodite : 315, 319
Hersage : 433
Herse : 396, 447, 466
Hertz : 1490
Hétérosis : 314, 319
**Heterotis niloticus* : 1323
Hétérozygote : 316, 319
Hévéa : 731
**Hevea brasiliensis* : 731
**Hibiscus cannabinus* : 1033
**Hibiscus esculentus* : 849
**Hibiscus sabdariffa* : 1044
Histomonose : 1302
Histosol : 174
Hivernage : 10
Homéothermes : 1169
Homozygote : 313, 319
Horizon (sol) : 134
Houe : 374, 385, 467

Huile (moteur) : 435
Huile d'abrasin : 867
Huile de bois de Chine : 864
Huile de coton : 1030
Huile de mu : 867
Huile de palme, de palmiste : 910
Huile de ricin : 435, 913
Huile de soja : 922
Huile de tournesol : 928
Huile de tung : 867
Huiles végétales : 932, 1083
Huisserie : 533
Humidimètre : 559
Humidité du sol : 250, 356
Humidité équivalente : 148, 329
Humus : 143, 228, 252
Hybridation : 313, 319
Hydatidose : 1227
Hydraulique : 400
Hydromorphie : 168
Hygrométrie : 73
Hygroscopicité : 233, 234
**Hyparrhenia rufa* : 1103, 1116
**Hyparrhenia* spp. : 1104, 1105, 1107
Hyperstéréoscopie : 118
Hypochlorite : 1209

I

Identification des animaux : 1119
Igname : 644, 645, 648-650
**Ilex paraguayensis* : 995
**Illicum verum* : 933
Illite : 140
Imagerie radar : 132
Images satellitaires : 122-131
Immigration (cheptel) : 1126
Implantation des constructions : 501-502
Incubation : 1273
**Indica* : 688
Indice climatique de Fournier : 188
Indice culture : 188
Indice d'instabilité structurale : 141
Indice-pente : 187
Indice-pluie : 187
Indice-remède : 187
Indice-sol : 187
**Indigofera* : 1014
Indigotier, indigotine : 1014
Inoculation : 628
Insectes entomophages (utilisation) : 256
Insecticides : 258-270, 1148
Insecticides organophosphorés (intoxication par): 297-298
Insecticide (plante) : 833
Insecticides systémiques : 268-269
Insémination artificielle : 1163
Insolation : 47, 70, 502
Instruments de transport : 395
Intensification : 17
Interaction biotique : 606
Interbillon : 193
Intersection : 102
Intervalle de confiance : 1437
Intoxications : 296-301
Investissement agricole : 1354, 1401
Ionone : 934
**Ipomea batatas* : 680
IR thermique : 94
Irrigation : 163, 165, 321
Isoeugénol : 754
Isohyète : 71
Issues de riz : 1062

J

Jachère : 191, 192, 229, 1351
Jachère aménagée : 577
Jalon-fiche : 110
**Japonica* : 688
Jardin créole : 585, 589, 590
Jardin de case : 581
Jaugeage : 339
Joug, Jouguet : 380
Joule : 1490
Journée de travail (JT) : 1353
Jute : 1036

K

Kakaban : 1323
Kalinzi : 22
Kankrej (zébu) : 1193-1194
Kaolinite : 139

Kapokier : 1038
Kapoulasan : 813
Karité : 895
Kénaf : 1033
Kikou : 786
Kikuyu : 1116
Kilogramme : 1489
Kouri (taurins) : 1191
Krétek : 751
Kudzu tropical : 1113, 1117
Kumquat : 768

L

Labour : 383, 433, 458
**Lactuca sativa* : 850
Lagunes (race des) : 1190
Lait : 1136
Lait (production) : 1136, 1172
Lait de soja : 926
Laitue : 840, 850
Lame d'abattage : 446
Lame forestière : 446
Lance d'arrosage : 357
Landrace (porc) : 1207
Lapin (élevage) : 1286
Large Black (porc) : 1205
Large White (porc) : 1206
Larme de Job : 644, 646
**Lates niloticus* : 1329, 1330
Latex : 731, 732
**Lawsonia alba* : 1015
Leghorn : 1273
Législation phytosanitaire : 301-302
Légumière (culture) : 838
Légumineuses : 1060-1061, 1063, 1113-1114, 1118
Légumineuse ichtyotoxique : 837
Leishmaniose du chien : 1230
Lemon Grass : 934
Lentille : 840
Lessivage initial : 170
Lestage : 427
Letchi : 813
**Leucaena leucocephala* : 1061, 1117
Leucose aviaire : 1291
Levée (cartographie) : 99
Levée de terre : 201, 202, 213
Levés topographiques : 109
Liants hydrauliques : 504
Lignage : 1463
Ligne d'arrêt (labour) : 194, 195
Lignée : 314, 319
Lime, limettier doux : 768, 770
Lisiers : 1155
Lit de semence : 251
Litchi : 813
Litchi chevelu : 813
**Litchi chinensis* : 813
Liteaux : 536
Lithosol : 174
Locus : 319
Locustes : 289
Logement (élevage laitier) : 1140
Logement volaille, lapins : 1269-1271, 1275
Loi binomiale : 1434
Loi de Laplace-Gauss : 1434, 1436
Loi de Mitscherlich : 224
Loi de Pareto : 1435, 1436
Loi de répartition : 1433
Loi de restitution : 224
Loi de Student : 1439
Loi du minimum : 223
Lonchocarpus : 837
Longanier : 813
Loque : 1307
Lubrification : 435
Lumen : 1491
Lutte anti-acridienne : 289-290
Lutte anti-aviaire : 291-292
Lutte autocide : 257
Lutte biologique : 256-257
Lutte intégrée : 257-258
Luvisol : 174
Lux : 1491
Luzerne du Brésil (ou tropicale) : 1113, 1117
**Lycopersicum esculentum* : 861
Lymphangite (équidés) : 1248
Lysimètre : 71

M

Mâche d'Italie : 840
Machette : 373, 374

Macis : 765
Maçonnerie : 530
*Macroptilium lathyoroides : 1117
*Macroptilium stropurpureus : 1117
Madrier : 519, 536
Magnésium : 227
Maïs : 1083
Maïs, maïs sucré : 651, 840
Maïs (récolte) : 470
Maladie (élevage) : 1171
Maladie de Gumboro : 1291, 1300
Maladie de Johne : 1246
Maladie de Montgomery : 1251-1252
Maladie de Newcastle : 1291, 1299
Maladie de Teschen : 1248, 1256
Malgaches (bovins) : 1155
Mandarinier : 768, 770
Manège : 395
Manganèse : 228
Mangeoires (volailles) : 1274
**Mangifera indica* : 816
Manguier : 816
Manihot glaziovii : 666
**Manihot utilissima* : 665
Manioc : 665, 1083
Manioc sec : 1080
Manioc (traitement) : 493
Manioc vert : 671
Manoque : 1003
Maraîchage péri-urbain : 34
Marcottage : 308, 629
Marek : 1297
Marge : 1362
Marquage des animaux : 1119
Maté : 995
Matériels de culture attelée : 1146
Matériels de ponte : 1264
Matériel végétal : 303
Matière active (pesticides) : 254
Maydée : 644, 646
Medicaments antiparasitaires : 1234-1235
Méïose : 319
Mélange en vrac : 239
Mélasse : 938, 953, 1081-1082
**Melinis minutiflora* : 1116
Melon, melon d'eau : 840
Ménage : 1463
Mensurations : 1122
Mesure altimétrique : 107
Mesure anglo-saxonne (conversion) : 1496-1498
Mesure de densité : 1376, 1464
Mesure de rendement : 1376
Mesure de salinité : 161
Meure de longueur : 106
Mesure de rendement : 1465
Mesure de superficie : 1464
Mesure des angles : 107
Mesure planimétrique : 107
Métastrongyloses : 1225-1226, 1234, 1235
Métayage : 1349
Méthode d'appariement : 1470
Méthode d'arêtes de poisson : 632
Méthode d'irrigation (classification) : 343
Méthode Dapog : 697
Méthode de Porchet : 143, 169
Méthode des blocs : 1471, 1472
Méthode des couples : 173
Méthode des points cotés : 106
Méthode des profils : 105
Méthode du carré latin : 1476, 1477
Méthode goniographique : 110
Méthode Guyon : 169
Méthode multicritère : 606
Méthode Müntz : 143, 169
Méthode taungya : 576
Méthyltestostérone : 1329
Mètre : 1489
Mètre carré : 1490
Mètre cube : 1490
Métroxylon : 717
Meule : 375
Miel : 1301-1303, 1314, 1315
Mil : 643-644, 674-679
Milieu (amélioration du) : 1180
Millet : 643, 1083
Minéralisation : 143, 252
Minéraux : 1073, 1081-1082
Minimum tillage : 177
Minute (conversion en degré) : 1511
Mise en boue : 396, 478
Mitose : 319
Mode d'exploitation : 1349

Modes de multiplication : 304
Module de distribution : 334
Module parcellaire : 334
Moine : 1326, 1327
Moissonage : 434
Moissoneuse-batteuse : 472
Molluscide (produit) : 1241
Molybdène : 228
Monoïque : 304, 319
Montmorillonite : 139
Mortalité (animaux) : 1126
Mortier : 506
Mosaïque (photographie aérienne) : 121
Moteur électrique : 406
Moteur éolien : 398
Moteur hydraulique : 400
Moteur thermique : 410
Motoculteur : 417, 419
Motofaucheuse : 417
Motohoue : 417, 419
Mototracteur : 419
Mouillant : 255
Moutons à laine (races de) : 1200
Moutons à poils (races de) : 1198
Mouton D'mane : 589
Mouture : 492
Mulch : 194
Mulch tillage : 177
Mulet : 1204
Multiculteur : 492
Multiplication asexuée : 306
Mur de refend : 530
Mur porteur : 530
**Musa* : 804
**Musa textilis* : 804, 1017
Muscade : 755
Mutant : 320
Mutation : 319
Mycorhization : 628
Myiases : 1227-1228, 1235
**Myristica fragrans* : 755
Myrrhe : 935

N

N'dama (taurins) : 1188-1189
Napier : 1112, 1118
Nappe : 366
Navet : 840
Nellore (zébu) : 1194-1195
Nématicides : 288
Nématodes (lutte) : 287-289
Nématodoses : 1235
Nep : 1027
**Nephelium* spp. : 813
Néroli : 768, 780
Nettoyeur : 377
Newton : 1490
Niche écologique : 575, 596
Nicotina : 996
Nicotine : 1004
Niébé :851, 1117
Nitosol : 174
Niveau (sol) : 169
Niveau (terrain) : 107, 108
Niveau de confiance : 1437
Niveau piézométrique : 169
Niveau de signification du test : 1440
Niveleuse : 456
Nivellement direct : 103, 111
Nivellement indirect : 104, 111
Nocardiose : 1246-1247
Noix de cajou : 789
Nombres aléatoires (table) : 1449
Nomenclature des sols africains : 175, 176
Normes de température (éleveuse) : 1268
Normes topographiques : 113
Nosémose : 1308

O

Oasis : 819-822
Obstacle absolu : 195, 196
Obstacle-filtre : 195, 196
Occupation maximale du sol : 191
ODR : 1345
Oesophagostomose : 1219, 1223, 1234, 1235
Oeufs (hygiène) : 1294
Ohm : 1491
Oignon : 840, 843, 845, 854
Oléagineux (traitement) : 492
Oligo-éléments : 227, 252

Onde de crue : 352
Ongole (zébu) : 1194-1195
Opération de développement rural (ODR) : 1345
Oranger : 767
Organo-chlorés (intoxication) : 299
Orseille : 1014
**Oryza sativa* : 687
Orthophotoplan : 121
Oseille : 840
Oseille de Guinée : 1044
Outillage à main : 373
Ouvrage d'infiltration : 202
Ouvrage de ceinture : 367
Ouvrage de diversion : 207, 213
Ovins (apports alimentaires) : 1070-1071
Oxydoréduction : 146
Oxyquinoléine : 1209
Oxyurose : 1221-1222, 1234, 1235

P

Paddy : 687, 700, 705
Paillage : 189, 190, 194, 229
Paille : 1074
Paille de maïs : 1061, 1075
Paille de riz : 1061, 1075, 1080
Paillis : 194
Pak choï : 840
Paka : 1049-1050
Palétuvier : 1013, 1014
Palmier : 956
Palmier à huile : 898
Palmier-dattier : 25, 585, 587, 819
Palmiste : 910
Palonnier : 382
Paludisme : 1339
Pamplemoussier : 770
Panicée : 643, 646
**Panicum antidotale* : 1116
**Panicum burgu* : 956
**Panicum maximum* : 1059, 1075, 1081, 1104, 1109, 1112, 1116
**Panicum miliaceum* : 643, 646
**Panicum miliare* : 646
Panmixie : 316, 319
Panne (charpente) : 534, 535, 536
Pansage : 1215
Pantomètre : 107, 109, 110
Papayer : 831
Paramètres d'évolution : 1123, 1161
Paramètres de situation : 1127
Paramphistomidoses : 1218-1219, 1234
Parcage : 229
Parcelles : 1350
Parcellaire : 631
Parcours : 1099, 1104
Partenariat : 35
**Parthenium argentatum* : 745
Parthénogénèse : 319
Pascal : 1490
**Paspalum aragu* : 646
**Paspalum scrobiculatum* : 643, 646
Pastèque : 840
Pasteurellose aviaire : 1299
Pasteurellose : 1248-1249
Patate douce : 680, 1083
Patchouli : 934
Pathologie aviaire : 1290
Pâturage (rotation du) : 1107-1108
**Paullinia cupana* : 995
Pâturage (amélioration) : 1105
Pe tsaï : 840
Peaux : 1147, 1212
Pedigree : 314
**Pelargonium capitatum* : 934
Pelle : 223, 453
Pellets : 666
Pénétromètre : 503
Pénicillaire : 675
**Pennisetum clandestinum* : 1116
**Pennisetum purpureum* : 1104, 1112, 1118
**Pennisetum typhoïdes* : 643, 646, 674
Pente métrique (conversion) : 1513
Pépinière (aménagement) : 617
Pépinière (calendrier) : 618
Pépinière (semis) : 618
Pépinière permanente : 616
Pépinière potagère : 844
Pépinière temporaire : 616
Pépinière villageoise : 637
Perchoir (volaille) : 1280
Performance des souches : 1271

Périmètres aménagés : 362
Période climatique de végétation : 75
Peripneumonie contagieuse : 1249-1250
Perméabilité : 195
Perméabilité du sol: 142, 148, 328
Permis d'importation : 301
**Persea americana* : 789
Persil : 840
Perte de terre (érosion) : 187
Pertes et profits : 1420
Perturbation : 1404
Peson : 1134
Peste : 1250-1252
Pesticides : 253
«Petit fossé» : 367
Petit mil : 643
Peul (zébu) : 1185-1187
PH : 146, 148, 248, 252
Phase de plantation : 602, 603, 604
Phase de propagation : 602, 603, 604
Phase de sénescence : 603, 604
Phase juvénile : 603, 604
Phase mature : 603, 604
**Phaseolus lunatus* : 858
Phellogène : 310
Phénol : 1209
Phénotype : 307, 316
**Phoenix dactylifera* : 587,685, 822
Photo-périodisme : 48, 76, 722
Photographie aérienne : 115-122
Photointerprétation : 121, 129
Photopériodisme : 48
Photosynthèse : 48
**Phylostacchys pubescens* : 861
Phyllosilicates : 139
Phytotoxicité : 248
Pied de cuve :317
Pierre (matériau construction) : 503
Piézomètre : 197
**Pillostigna reticulatum* : 1061
Piment : 755, 858
Pintade (élevage) : 1283
Pioche-hache : 374
**Piper nigrum* : 756
Pipérine : 761
Piquetage : 221, 631
Piroplasmoses : 1230-1231
Pisciculture : 1321
Pissenlit : 840
Plafond : 533
Plan comptable : 1419
Plan de trésorerie : 1402
Planage : 358, 397
Planche : 102, 103, 105
Planche (irrigation à la planche) : 345
Planche à terrasser : 223
Planche de semis : 622
Planchette :110
Planchette topographique Chaix : 113, 114
Planimétrie : 99, 109
Planosol : 174
Plantation (densité) : 1519-1523
Plantation en irrigué : 635
Plantation en sec : 634
Plantation paysanne mixte : 585, 590
Plantes à parfum : 932
Plantes allogames : 315
Plantes autogames : 315
Plante dioïque : 315
Plantes médicinales : 864
Plantes oléifères : 864
Plantes sacharifères : 938
Plantes stimulantes : 957
Plantes tannifères : 1013
Plantes textiles : 1015
Plantes tinctoriales : 1014
Plants à racines nues : 629
Plants en pots (ou sachets) : 630
Pleuro-pneumonie (chèvre) : 1252-1253
Pluie critique : 366
Pluie utile : 74
Pluviomètre : 70
Pluviométrie : 75, 93, 202
Pluviosité : 48
Pneumatiques : 422, 425
**Pogostemon patchouli* : 934
Poids des cuirs : 1150
Poids vif des animaux : 1129, 1172
Poids vif vide : 1130
Poids de graines : 620
Point de flétrissement : 148, 329
Poireau : 840, 859
Poirée : 843

Pois bambara : 863
Pois du Cap :858
Poiseuille : 1490
Poisson marchand : 1330, 1332, 1335-1336
Poivre, poivrier : 756
Poivron : 840, 860
Polyculteur : 392
Polygonation : 101
Pomelo : 768, 770
Pomme cajou : 789
Pomme de terre : 684, 843
Pompe : 378, 401, 402
Poncirus: 767, 769
Pondeuse : 1262, 1272, 1297
Pondoir : 1281
Poney : 1204
Poquet : 194, 470, 623
Porc : 1339
Porcherie : 549
Porcin (apports alimentaires) : 1086
Porcs (races de) : 1204
Porosité : 147
Porosité (sols) : 190, 249, 328
Portes et fenêtres : 532
Porte-greffe :309
Poteaux : 570
Potentiel capillaire : 142, 330
Potentiel d'oxydo réduction : 146
Poudrette : 28, 1157
Poulailler : 1263, 1269, 1279, 1339
Poule pondeuse : 1298
Poule pondeuse (alimentation) : 1091-1095
Poulet de chair : 1262, 1266, 1272
Poulet de chair (alimentation) :1091
Poulette : 1262
Pourpier : 840
Pousse de bambou : 861
Poutre : 510
Prairie temporaire : 192
Précaution emploi prod. phytos.: 296
Précipitation : 70
Précocité : 1124
Prédateur (association Tilapia prédateur) : 1329, 1330
Prélèvements (valeur fourragère) : 1102
Préparation du sol: 632
Pressage : 434
Pression osmotique : 162
Pressley Stength Tester : 1026
Prévision de production : 1357
Prix de revient horaire (engins) : 441
Procédé Chinball : 1162
Procédé Kamar : 1162
Proctorisation : 1003
Production de viande : 1172, 1180, 1359
Production du troupeau : 1137
Production laitière : 1136, 1172
Productivité pondérale : 1360
Productivités : 1357
Produit brut d'exploitation : 1361
Profil architectural (méthode) : 601
Profil hydrique : 143
Profil pédologique : 134, 195
Projet (évaluation) : 1398
Pseudo-labour : 249
Psychromètre : 73, 1503
Psychrométrie : 1503, 1504-1506
**Pterocarpus* : 1014
Public-cible :42
**Puccinia polyspora* : 660
**Pueraria phaseoloides* : 1113, 1117
Puero : 1113, 1117
Puissance disponible : 378
Puissance éolienne : 399
Puissance hydraulique : 401
Puissance nécessaire : 379
Pullorose : 1300
Pulvérisage : 433
Pulvérisateur : 446, 480-490
Pulvériseur : 462
Putréfaction (cuir) : 1149
Pyrétrinoïdes (intoxication par) : 299
Pyrèthre, pyrèthrine : 833
Pyrhéliographe : 70
Pyrolyse : 496

Q

Quarantaine : 302
Questionnaire : 38, 1373, 1451, 1453, 1465, 1467
Quotient d'exploitation : 1374
Quotient de fécondité : 1374
Quotient de mortalité : 1373

R

Rabane : 1043
Race amélioratrice : 1170
Racine : 1062
Racine carrée : 1508
Racine cubique : 1508
Radar : 132
Radian : 1490
Radis : 840
Rafine : 665
Rage : 1253, 1255
Raie (irrigation à la) : 345, 349
Ramasseuse-presse : 475
Ramboutan : 813
Ramie : 1040
Rampe d'arrosage : 357
Rampe perforée fixe : 355
Ranch, ranching : 1167
Ranker : 174
Raphia : 1043
Rase (irrigation) : 343
Rateau défricheur : 446
Rateau déracineur : 447, 450
Rateau terrasseur : 223
Rateau universel : 446
Ratio boeuf de trait : 1079
Ratios d'analyse : 1358, 1411
Ration bovins : 1078-1081
Rations (calcul des) : 1078-1080
Ration ovins : 1080-1081
Ration porcins : 1088-1091
Ravine : 217, 218
Rayonnement : 101, 106
Rayonneur : 375
Reboisement : 630
Recensement : 1446
Récolte : 470
Récolteuse-hacheuse-chargeuse : 474
Récolteuse-tronçonneuse-chargeuse : 475
Recoupement : 102
Recrû (forestier) : 20
Red Sindhi (zébu) : 1196
Reddrying : 1003
Refouleur : 453
Regosol : 174
Relèvement : 102
Rendement (culture) : 74, 77, 476, 642, 1356
Rendement (élevage) : 1360
Rendement (viande) : 1130-1132
Rendzina : 174
Repiquage : 479, 624, 626
Repiqueuse : 376, 377
Reproduction : 1156
Réseau anti-érosif : 190, 193, 194, 204
Réseau d'infiltration : 213
Réseau de défense : 195, 220
Réseau de colature : 342
Réseau de diversion : 210, 212, 213
Résines à parfum : 935
Resistance au roulement : 430
Ressource pluviométrique : 74
Ressuyage : 142
Retrocroisement : 318
Revêtement de sol : 532
Révolution verte : 34
**Rhizophora racemosa* : 1013
Rhode Island Red : 1273
Rhum de vesou : 938
Ricin : 913
**Ricinus communis* : 913
Rigole (irrigation) : 343
Rinçage : 317, 319
Ripper : 447, 450
Riz : 687
Riz (petit usinage) : 491
Riz (sous-produits) : 1062
Riz blanc : 705
Riz paddy : 1083
Rizerie (schéma de) : 707
Riziculture inondée : 693, 695
Riziculture irriguée : 377, 693, 695
Riziculture pluviale : 693, 695
Rizières (irrigation des) : 350
Rizipisciculture : 1338
Robusta : 982
Rodage (tracteur) : 436
Rodenticides : 292
Rongeur (lutte) : 291-292
Rônier : 1043
Root-cutter : 447
Root-rake : 447, 450
Rooter : 447, 450

Roselle : 1044
Rotation : 1351
Roténone : 837
Rotin : 1044
Roucouyer : 1014
Roue de guéret : 384
Roue de tracteur : 422, 424
Roulage : 433
Rouleau piétineur : 396
Rouleau débroussailleur : 446
RU : 79, 80
Ruban d'acier : 100, 106, 109, 110
Ruche : 1301, 1310, 1312-1316, 1319, 1320
Ruissellement : 343
RUR : 80, 87

S

Sable (matériau construction) : 504
**Saccharum* : 938
Sachet : 622
Sagou : 717
Sagoutier : 717
Sahélien (zébu) : 1183
Sahiwal (zébu) : 1197-1198
Saignée (hévéa) : 737
Saison utile : 74
Salade : 843
Salaire : 1361
Salinité des sols : 161
Salsifis : 840
**Santal P. santalinus* : 1014
SAR : 161
Sarclage : 251
Sarclage en traction animale : 12
Sarcleuse : 376, 377, 387, 479
Satellites d'observation : 123-127
Sauteriaux : 289-290
Scarifiage : 377
Scarificateur : 450, 464
Schéma : 98
Schistosomoses : 1219
**Schoenefeldia gracilis* :1104
Scie : 374
Scorsonère : 840
Scotch grass : 1110
Scraper : 454
Sécateur : 374
Séchage des cuirs : 1148
**Sechium edule* : 590, 848
Séchoir à café : 493
Séchoir à grains : 561
Seconde : 1489
Seconde (conversion en degré) : 1511
Seedling : 732
Ségrégation : 313, 319
Sélection des animaux : 1181
Sélection des essences (critères) : 616
Sélection des plants : 630
Sélection massale : 315
Sélection naturelle : 320
Sélection par l'homme : 320
Self-fertilization : 318
Semenceaux : 317
Semences (qualité des) : 841
Semis (pépinière) : 618-623
Semis à la volée : 375, 469, 479
Semis direct : 194, 479, 636
Semis en germoir : 621
Semis en ligne : 12, 376, 434, 469
Semis en sachets : 622
Semoir : 375-377, 389, 469
Semoule : 665
Sésame : 919
**Sesamum indicum* : 919
Sesquioxyde de fer : 172
**Setaria italica* : 643
**Setaria sphaceita* : 1118
Seuil de carence : 156
Seuil de déficience : 156
Seuil de signification : 1437
Seuil de végétation : 46
Sillon (irrigation) : 345
Sillonneur : 375
Silo : 565, 1064-1065
Siphon : 348
Sisal : 1045
Soc : 383, 386
Sodium : 227
Sodium Absorption Ratio : 161
Soja : 840, 921
Sol (occupation maximale) : 191
Sol (structure) : 140, 163, 190, 193
Sol à sesquioxyde de fer : 172

Sol acide : 21, 155
Sol alcalin : 155
Sol battant : 140
Sol brunifié : 172
Sol calcimagnésique : 172
Sol ciment : 173
Sol cristallin : 21
Sol ferralitique : 173, 175
Sol ferrigineux tropical : 177
Sol halomorphe : 159, 173, 175
Sol hydromorphe : 173, 175
Sol isohumique : 172
Sol sodique : 159, 173
**Solanum melongena* : 846
**Solanum tuberosum* : 684
Solod : 158
Solonetz : 158, 174
Solontchak : 174
Son (blé, riz) : 1083
Sondage : 1446, 1447
Sorgho : 718, 1083
Sorgho de décrue : 34
Sorgho fourrager : 726
**Sorghum bicolor* : 718
**Sorghum vulgare* : 646
Soude caustique : 1209, 1210
Soudure (alimentation) : 11
Soufre : 227
Souleveuse d'arachides : 393
Sous-clone : 307
Sous-solage : 193, 458
**Spermacoce stachydea* : 1060
Spirochétose aviaire : 1302
**Sporobolus pyramidalis* : 1105
Sporophyte : 320
Sport : 320
Sprinkler : 357
Stabulation entravée : 542-543, 544
Stabulation libre : 543, 545-547, 1166
Stade phénologique : 46
Star grass : 1111, 1115
Station climatologique agricole : 90
Station de pompage : 358
Statistique : 1431
Stélomètre : 1026
Stéradian : 1490
Stocks (préservation des) : 293
Stockage : 562-569
Stomate : 49
Strate de végétation : 27
Stratification : 1448
Strongyloïdoses : 1224, 1235
Strongyloses : 1219-1220, 1222, 1225, 1234, 1235
Structure du troupeau : 1127
Stumper : 447, 450
**Stylosanthes gracilis* : 1101
**Stylosanthes guyanensis* : 1060, 1075, 1109, 1113, 1117
**Stylosanthes hamata* : 1109, 1113, 1117
Styrax : 935
Sublimé : 1209
Sucre (production, consommation) : 955, 956
Suivi-évaluation : 43
Superficies : 1350, 1368
Surface (calcul des) : 1514
Sussex (race) : 1273
Synchronisation des chaleurs (femelles) : 1164
Syngamose : 1302
Système agro-sylvopastoral : 584
Système agroforestier : 575, 599, 601
Système agrosylvicole : 576
Système d'infiltration : 200
Système de diversion : 200, 207-213
Systéme de rationnement : 1053
Système foncier : 1344
Système phoenicicole : 28
Système rural : 1344
Système sahélien Serer : 16
Système sylvopastoral : 584

T

Tabac : 996
Table d'équivalence unités : 1500-1501
Table de composition aliments : 1059, 1083
Table de mortalité : 1460
Table de Snedecor : 1473
Tableau psychrométrique : 1503, 1504-1506
Tachéomètre : 104, 105, 107, 109-111
Tamis : 233

Tamworth (porc) : 1205-1206
Tannerie : 1151
Tapioca : 665
Tarare : 377, 493
Tarière : 169
Taro : 728
Tatouage : 1119
Taurin africain : 1187
Taurin N'dama : 1138
Taux d'accroissement naturel : 1461
Taux d'exploitation : 1360
Taux d'insémination 1er féconde : 1157
Taux de fécondité : 1156, 1157, 1458
Taux de fertilité : 1156
Taux de mortalité : 1460
Taux de natalité : 1458
Taux de saturation : 144
Taux de travail des sols : 503
Taux net de reproduction : 1126
Technique de pépinière : 616
Teigne : 1229
Teff : 644, 646
Télédetection : 46, 93, 115, 1104
Température : 46, 69
Température des animaux dom. : 1216
Teneur (pesticide) : 254
Teniasis aviaire : 1302
Teniasis des ruminants : 1220-1221, 1234
**Tephrosia* : 837
Terrasse : 190, 194-196, 213, 220
Terrassement : 445, 453, 478, 502, 524
Terre de barre : 177
Terroir : 1365
Terroir foncier : 1344
Terus : 180
Tesla : 1491
Test-cross : 314, 318
Tétanos : 1253-1254
Tétragone : 840
Tex : 1026
Texture des sols : 137, 252
Thalweg : 210, 217, 221
Théier : 1005
Theilérioses : 1231
Thélazioses : 1228, 1234
**Theobroma cacao* : 957
Théobromine : 995, 1011
Théodolite : 104, 107-109
Théophylline : 1011
Thermomètre : 69
**Tilapia nilotica* : 1322, 1329-1338
Tilier : 479
Timon : 382
Tirage exhaustif : 1439
Tirage non exhaustif : 1436
Tôle ondulée : 538-540
Tomate : 840, 843, 861
Topofil : 100, 106, 109, 110
Topographie : 164
Toposéquence : 22, 45, 87
Torréfaction (café) : 991
Tossa jute : 1037
Tour d'eau : 237
Tournesol: 938
Tourniquet hydraulique : 233
Tourteau : 1074, 1079
Toxicité : 158, 295-296
Tracteur : 415, 419
Tracteur à chenilles : 416, 445
Tracteur à roues : 415, 445
Traction animale : 378, 388
Traction chevaline : 433
Traction mécanique : 433
Traitement aérien : 490
Traitement fongicide : 483, 488
Traitement herbicide : 483, 488
Traitement insecticide : 483, 488
Traitement numérique (images satellitaires) : 129-130
Tranchée : 197, 200
Trancheuse-poseuse : 372
Transfert de fertilité : 12, 23
Transfert direct : 15
Transformation produits agricoles : 491
Transhumance : 17, 18
Transport de plants : 632
Travail animal : 1140
Travailleur : 1353
Travail agricole (suivi) : 1371
Travée : 535
Tree-crusher : 447
Treedozer : 446
Trésorerie : 1416

Treuil : 445
Triage calibrage : 493
Trichostrongylose : 1222, 1235
Trichurioses : 1224-1225
Trigonométrie : 1509
Trinitario (cacaoyer) : 959
**Tripsacum laxum* : 1112, 1118
Trypanocides usuels : 1232
Tropiculteur : 393
Trouaison : 632
Troupeau : 1123-1129
Trumeaux : 530
Trypanosomiase : 20, 1231-1233
Tube : 622
Tubercule : 1062
Tuberculose : 1254
Tuberculose aviaire : 1300
Tung (huile de) : 867
Turmeric : 749
Tuyeau enterré : 371
Typhose aviaire : 1300

U

UBT : 1122, 1145, 1359
UCH : 1346, 1366
UGB : 1358
ULM : 122
**Uncaria gambir* : 1015
Unité cartographique : 184
Unité bétail tropical : 1122, 1145, 1359
Unité collective budgétaire : 1346
Unité collective d'habitation (UCH) : 1346, 1366
Unité collective de consommation : 1346
Unité de mesure : 1489
Unité de production familiale (UPF) : 1346, 1366
Unité de sondage : 1450
Unité fertilisante : 244
Unité gros bétail (UGB) : 1358
UPF : 1346, 1366
Urée : 1061, 1062, 1081-1082
Urena : 1049
**Urena lobata* : 1049

V

Vaccination (élevage) : 1171
Valeur ajoutée : 1406, 1408
Valeur bromatologique : 1101
**Vanilla* : 762
Vanille, vanillier, vanilline : 762
Vannes : 335
Variété précoce : 12
Variole aviaire : 1291, 1297, 1300
Variole caprine : 1244-1245
Variole ovine : 1244-1245
Varroase : 1308
Végétation (zones - Afrique) : 68
Végétation halophyte : 159, 160
Vent (action spécifique) : 50, 502
Vent (mesure) : 73
Vergers (irrigation des) : 250
Vérin : 404
Versoir : 193, 384
Vertisol : 172, 174, 180
Verveine citronnel : 933
Vétiver : 935
**Vetiveria zizanioides* : 935
Viande (production de) : 1129
Vie sexuelle (femelles) : 1161
**Vigna* : 851
**Vigna unguiculata (Niébé)* : 1117
Vigueur hybride : 313, 319
Vinasse : 946
Vitamines : 1074
**Voandzeia subterranea* : 863
Voandzou : 863
Volige : 536
Volume : 1516
Volt : 1491
Vulcanisation : 743

W

Watt : 1490
Weber : 1491
White Jute : 1037

X

**Xanthosoma* : 728
Xerosol : 174

Y

Yermosol : 174
Ylang-Ylang : 935
Yorkshire (porcs) : 1206

Z

Zea mays : 651
Zébu malgache : 1191
Zébu maure : 1184
Zébu peul : 1185
Zébu sahélien : 1137, 1183
Zéro de végétation : 47
Zinc : 228
Zingiber officinale : 749
Zone-cible : 36
Zones climatiques (Afrique) : 54, 55
Zornia glochidiata : 1060, 1105
Zygote : 320

TABLE DES MATIÈRES

Pages

Avertissement au lecteur 3

PREMIÈRE PARTIE : AGRICULTURE GÉNÉRALE

CHAPITRE I. – CONNAISSANCE DES AGRICULTURES AFRICAINES 9

I. **Les principaux types d'agricultures en Afrique** 9
1. Les systèmes céréaliers sahéliens 9
2. Les systèmes céréaliers de la zone sahélienne 15
3. Les systèmes agraires de la zone forestière 18
4. Les systèmes agraires d'altitude 21
5. Les systèmes agraires d'oasis 25
6. Conclusion 28

II. **Approche de l'action de développement** 30
1. Un cadre général de réflexion 31
2. Des outils 36

CHAPITRE II. – LE CLIMAT 45

I. **Introduction et généralités sur l'action des facteurs climatiques** 45
1. Facteur chaleur 46
2. Facteur eau 48

II. **Les climats africains. Généralités et données de base** 51

III. **L'enregistrement des données climatologiques et leur exploitation** 69
1. Secteur chaleur 69
2. Secteur eau 70

IV. **La ressource pluviométrique, le déficit hydrique et le rendement des cultures** 74
1. La caractérisation de la saison utile 74
2. L'alimentation hydrique et le rendement 77
3. Les bases du diagnostic de l'amélioration de l'alimentation hydrique 81
4. Les simulations, les techniques culturales et le matériel végétal pour manager la pluie à la parcelle 85

V. **Éléments nécessaires à l'établissement d'une petite station climatologique agricole** 90
1. Automatiser les stations climatologiques : de nombreux avantages 91

2. Des mesures plus fines pour une agriculture plus performante 93
VI. **Les apports possibles de la télédétection à la connaissance des régimes climatiques. Une approche régionale de la pluviométrie et de l'évapotranspiration** 93

CHAPITRE III. – TOPOGRAPHIE 97
1. Généralités sur les cartes 97
2. Établissement des cartes et des plans : les levés 99

CHAPITRE IV. – LA TÉLÉDÉTECTION 115
1. La photographie aérienne 115
2. Les images satellitaires 122

CHAPITRE V. – SOLS 134
I. **Description d'un profil** 134
1. Nomenclature et désignation internationale des horizons 134
2. Données intéressant la description d'un profil 135
II. **Caractéristiques physiques des sols** 137
1. Texture des sols 137
2. Structure des sols 140
3. Relation sol-eau 141
III. **Caractéristiques chimiques des sols** 143
1. Humus et acides humiques 143
2. Complexe absorbant 145
IV. **Principales analyses des sols** 147
V. **Interprétation des analyses de sols** 150
1. Généralités 150
2. Normes d'interprétation de richesse d'un sol d'après les analyses chimiques 151
3. Principes d'estimation de la fertilité 153
4. Seuils de carence et de déficience 156
5. Toxicités dues à l'aluminium et au manganèse 158
VI. **Les sols sodiques** (ou halomorphes) 159
VII. **Aptitude d'un sol à l'irrigation** 163
1. Le sol 163
2. La topographie 164
3. Le drainage 165
4. Eaux d'irrigation 165
VIII. **Aptitude d'un sol au drainage** 168
1. Détermination des zones à drainage déficient 168
2. Définition des causes 168
3. Récolte des données en vue de l'installation d'un système de drainage 169
4. Cas des sols salés et/ou alcalins 170
IX. **Classification des sols** 171
1. Classification française 171
2. Liste des unités des sols – FAO 173
3. Essai de correspondance entre classification française et unités des sols – FAO pour les régions tropicales 174

4. Nomenclature des sols africains et leur répartition géographique d'après la carte des sols au 1/5 000 000 (d'Hoore, CCTA) 176
X. **Mise en valeur de sols tropicaux** 176
1. Les sols férrallitiques 176
2. Sols ferrugineux tropicaux 178
3. Les argiles noires tropicales 180
XI. **Carte des sols** 183
1. Types de cartes 183
2. Unités cartographiques 184
3. Relations : échelle – classification – utilisation 185
4. Relations : échelles/surfaces 185
5. Relations : échelle demandée par nombre de sondages à l'hectare 186

CHAPITRE VI. – LA CONSERVATION DES SOLS 187

1. Généralités 187
2. Techniques de lutte contre l'érosion 189
3. Étude et exécution des travaux de conservation d'un périmètre défini. 218
4. Conclusion 222

CHAPITRE VII. – FERTILISATION 223

1. Généralités 223
2. Rôle des divers éléments 226
3. L'humus 228
4. Amendements calcaires 232
5. Les engrais 233
6. Travail du sol 248

CHAPITRE VIII. – PRODUITS DE LUTTE ANTIPARASITAIRE 253

Introduction 253
1. Caractéristiques principales des produits antiparasitaires 254
2. Produits finis liquides 255
3. Produits finis solides 255
4. Modalités de traitement 255
5. La lutte biologique 256
6. La lutte intégrée 257
I. **Principaux insecticides utilisés en zones tropico-équatoriales** . 258
1. Classification 258
II. **Principaux fongicides utilisés en zones tropico-équatoriales** 271
1. Produits minéraux 271
2. Produits organiques 273
III. **Herbicides** 281
IV. **Substances de croissance** 287
V. **Lutte contre les nématodes** 287
VI. **Lutte antiacridienne** 289
VII. **Lutte anti-aviaire contre les mange-mil, et les prédateurs de semences en place** 290
1. Lutte contre les mange-mil 290

2. Lutte contre les prédateurs de semence en place 291
VIII. **Lutte contre les rongeurs** 291
IX. **Préservation des denrées stockées** 293
X. **Toxicité** 295
XI. **Traitements d'urgence des intoxications par les produits chimiques à usage agricole** 296
1. Méthode recommandée pour un lavage d'estomac 296
2. Traitements recommandés 297
XII. **Législation phytosanitaire** 301

CHAPITRE IX. – PRODUCTION DE MATÉRIEL VÉGÉTAL 303

I. **Production d'un matériel végétal par la voie asexuée** 306
1. Principes de sélection 306
2. Méthodes de multiplication asexuée 306
II. **Production d'un matériel végétal par la voie sexuée** 313
1. Principes de sélection 313
2. Méthodes de multiplication sexuée 315
III. **Schéma d'organisation de plans de multiplication** 316
IV. **Glossaire** 318

CHAPITRE X. – IRRIGATION ET DRAINAGE 321

Introduction 321
I. **Irrigation** 321
1. Détermination des besoins en eau des plantes cultivées . 321
2. Appréciation des contraintes physiques du sol 327
3. Doses et fréquence des arrosages 331
4. Débits et modules 332
5. Rappel de notions d'hydraulique 335
6. Méthodes d'irrigation 342
7. Le planage 358
8. Stations de pompage 358
9. Utilisation de l'eau 360
10. Exploitation des périmètres aménagés 362
II. **Assainissement** 365
1. Notions générales 365
2. Bases du calcul des réseaux d'assainissement 366
3. Drainage par fossés ouverts 367
4. Drainage par tuyaux enterrés 371

CHAPITRE XI. – MACHINISME 373

I. **Culture manuelle** 373
1. Petit outillage à main 373
2. Appareils et outils portés, poussés, tractés... par un homme 375
3. Petit équipement complémentaire pour exhaure de l'eau . 378
II. **Traction animale** 378
1. Puissance disponible et puissance nécessaire en culture attelée 378
2. Système d'attelage 380
3. Instruments de culture 382
4. Temps de travaux 394

5. Instruments de transport 395
6. Les manèges 395
7. Les appareils spécialisés de riziculture inondée 396
III. **Les moteurs** 398
1. Les moteurs éoliens 398
2. Moteurs et transmissions hydrauliques 400
3. Les moteurs électriques 406
4. Les moteurs thermiques 410
IV. **Les tracteurs** 415
1. Classification des tracteurs agricoles. Principes de choix. 415
2. Caractéristiques techniques 418
3. Lubrification des tracteurs 435
4. Entretien des tracteurs 436
5. Frais généraux 444
V. **Travaux de culture mécanique** 445
1. Défrichements et terrassements 445
2. Préparation du sol 458
3. Travail superficiel du sol 462
4. Semis 468
5. Récolte 470
6. Appareils spéciaux pour riziculture inondée 478
7. Défense des cultures 480
VI. **Appareils de préparation et de première transformation des produits** 491
1. Traitement des céréales 491
2. Traitement des oléagineux 492
3. Traitement du café 492
4. Traitement du manioc 493
5. Triage calibrage 493
VII. **Biomasse énergie** 494
1. Source de la biomasse 494
2. Potentiel de la biomasse – énergie mobilisable 494
3. Conversion de la biomasse végétale en énergie mécanique. 494
4. Filières économiquement applicables pour le développement de l'agriculture 494

CHAPITRE XII. – CONSTRUCTION

I. **Principes de construction** 501
II. **Connaissance du terrain** 501
1. Implantation 501
2. Terrassements 502
3. Fondations 502
III. **Matériaux** 503
1. Les pierres 503
2. Les sables 504
3. Les liants hydrauliques 504
4. Les mortiers (liant + sable et eau) 506
5. Le béton (liant + sable + gravier + eau) 507
6. Les agglomérés 517
7. Les briques cuites 518
8. Le bois 519

9. Les fers profilés 521
IV. **Terrassements** 524
V. **Fondations** 526
1. Calcul des fondations 526
2. Exécution des fondations 528
VI. **Maçonnerie** 530
1. Les murs 530
2. Les cloisons 531
3. Les enduits 531
4. Densité de la maçonnerie 531
VII. **Revêtements de sol** 532
VIII. **Portes et fenêtres** 532
IX. **Plafond** 533
X. **Couverture** 534
1. Les charpentes 534
2. Matériaux de couverture 538
XI. **Logement des animaux** 541
1. Étables 541
2. Porcheries 549
3. Bergeries 551
4. Parc de vaccination du bétail bovin 553
XII. **Logements des récoltes et matériels** 556
1. Les hangars 556
2. Séchage 559
3. Stockage 562
XIII. **Clôtures** 570
1. Les poteaux 570
2. Clôtures d'exploitation 571

CHAPITRE XIII. – AGROFORESTERIE 574

1. Introduction à l'agroforesterie 574
2. Classification et typologie des systèmes agroforestiers 575
3. Exemples de systèmes agroforestiers 585
4. Spécificité de l'agroforesterie par rapport à l'agriculture et la sylviculture 594
5. Le développement de l'agroforesterie : conditions particulières 599

CHAPITRE XIV. – PÉPINIÈRES ET PLANTATIONS 614

1. Généralités – Importance des arbres 614
2. Préalables aux travaux de plantation 615
3. Les techniques de pépinières 616
4. Les techniques de reboisement 630

DEUXIÈME PARTIE : AGRICULTURE SPÉCIALE

CHAPITRE XV. – CULTURES SPÉCIALES 641

I. **Plantes amylacées** 642
Arrow-Root 642 Graminées alimentaires 643 Igname 644

Maïs 651 Manioc 665 Mil 674 Patate douce 680 Pomme de terre 684 Riz 687 Sagoutier 717 Sorgho 718 Taro 728

II. **Plantes à caoutchouc** 731
Hévéa 731 Guayule 745

III. **Plantes à épices** 748
Cannelier 748 Cardamones 749 Curcuma 749 Gingembre 749 Giroflier 750 Muscade et macis 755 Piment 755 Poivrier 756 Vanillier 762

IV. **Plantes à fruits** (principales) 767
Agrumes 767 Anacardier 782 Ananas 789 Avocatier 799 Bananier 804 Litchi 813 Manguier 816 Palmier dattier 819 Papayer 831

V. **Plantes insecticides** 833
Pyrèthre 833 Légumineuses insecticides et ichtyotoxiques 837

VI. **Plantes légumières** 838
Cultures légumières 838 Amarante hybride 846 Aubergine 846 Baselle 847 Chayotte ou Chouchoute 848 Chou vert 848 Chou palmiste 849 Gombo 849 Laitue 850 Niébé 851 Oignon 854 Piment 858 Pois du Cap 858 Poireau 859 Poivron 860 Pousse de bambou 861 Tomate 861 Voandzou 863

VII. **Plantes médicinales** 864

VIII. **Plantes oléifères** 864
Aleurites 864 Arachide 867 Carthame 880 Cocotier 882 Karité 895 Palmier à huile 898 Ricin 913 Sésame 919 Soja 921 Tournesol 928

IX. **Plantes à parfum** 932
Badiane 933 Citronnelle 933 Eucalyptus 933 Géranium (Rosat) 934 Lemon Grass 934 Patchouli 934 Les résines à parfum 935 Vétiver 935 Ylang-Ylang 935

X. **Plantes saccharifères** 938
Canne à sucre 938 Autres plantes saccharifères 956

XI. **Plantes stimulantes** 957
Cacaoyer 957 Caféier 975 Colatier 993 Guarana 995 Maté 995 Tabac 996 Théier 1005

XII. **Plantes tannifères – Plantes tinctoriales** 1013
Plantes tannifères 1013 Palétuviers 1013 Autres plantes tannifères 1014 Plantes tinctoriales 1014

XIII. **Plantes textiles** 1015
Plantes à fibres 1015 Abaca 1017 Cotonnier 1017 Kénaf 1033 Jute 1036 Kapokier (ou fromager) 1038 Ramie 1040 Raphia 1043 Rônier 1043 Roselle (oseille de Guinée) 1044 Rotins 1044 Sisal 1045 Urena ou Paka 1049

TROISIÈME PARTIE : ÉLEVAGE

CHAPITRE XVI. – ALIMENTATION DU BÉTAIL 1053

I. **Alimentation** 1053
1. Application des nouveaux systèmes de rationnement à l'alimentation du bétail tropical 1053

2. Alimentation des ruminants 1058
3. Alimentation des animaux monogastriques : porcs et volailles 1082
4. Alimentation des chevaux et des ânes 1097
5. Alimentation des dromadaires 1097
II. **Les ressources fourragères** 1099
1. Méthodes d'étude et d'appréciation des parcours 1099
2. Exploitation traditionnelle des parcours 1104
3. Amélioration de l'exploitation des pâturages 1105
4. Cultures fourragères 1108

CHAPITRE XVII. – ZOOTECHNIE 1119
I. **Observations zootechniques** 1119
1. Observations sur l'animal 1119
2. Observations sur le troupeau 1123
II. **Productions animales** 1129
1. Les productions de viande 1129
2. La production laitière 1136
3. Travail animal et culture attelée 1140
4. La production de cuirs et peaux 1147
5. La fertilisation organique 1153
III. **Reproduction** 1156
1. Généralités 1156
2. Les paramètres de reproduction 1157
3. Normes de reproduction chez les mâles 1158
4. Normes de reproduction chez les femelles 1159
IV. **Modes d'élevage** 1164
1. Élevages traditionnels 1164
2. Élevages améliorés 1166
V. **Caractéristiques générales des élevages tropicaux** 1169
1. Climat 1169
2. Maladies 1171
3. Milieu humain 1171
4. Cheptel 1172
VI. **L'amélioration du cheptel** 1180
1. Amélioration du milieu 1180
2. Amélioration de l'animal 1181
3. Amélioration de l'exploitation du cheptel 1182
VII. **Ethnologie des animaux domestiques** 1183
A. Les bovins 1183
1. Bovins d'Afrique occidentale et centrale 1183
2. Bovins de Madagascar 1191
3. Bovins des Indes 1193
B. Les moutons 1198
1. Moutons à poils 1198
2. Moutons à laine 1200
C. Les chèvres 1201
D. Les chevaux 1202
1. Le cheval arabe 1203
2. Le cheval barbe 1203

3. Le cheval dongolaw 1203
4. Le poney 1204
E. Les ânes et les mulets 1204
F. Les porcs 1204
1. Races locales 1204
2. Races améliorées d'importation 1205
3. Races métisses 1207
G. Les dromadaires 1027

CHAPITRE XVIII. – HYGIÈNE ET PATHOLOGIE 1209

I. **Désinfection** 1209
1. Les désinfectants 1209
2. Techniques de désinfection 1210
3. Techniques de destruction des cadavres 1212
II. **Soins à donner et hygiène des animaux de trait** 1213
1. Incidence de la culture attelée sur la pathologie du bétail 1213
2. Hygiène 1214
3. Prophylaxie des maladies 1215
III. **Températures internes des animaux domestiques** 1216
IV. **Maladies parasitaires des mammifères domestiques** 1216
A. Remarques générales 1216
B. Principales maladies parasitaires 1217
1. Helminthoses gastro-intestinales et hépatiques 1217
2. Parasitoses intestinales communes à plusieurs espèces . 1223
3. Helminthoses respiratoires 1225
4. Parasitoses diverses 1226
5. Parasitoses cutanées 1228
6. Parasites du sang et des cellules du système réticulo-endothélial 1230
C. **Lutte contre les vecteurs** 1233
1. Destruction des arthropodes 1233
2. Destruction des mollusques d'eau douce 1240
V. **Maladies contagieuses des animaux domestiques** 1241
VI. **Techniques des prélèvements destinés aux laboratoires de diagnostic** 1255
A. Quels prélèvements sont à faire ? 1255
B. Récolte des prélèvements 1256
C. Emballage et envoi des prélèvements 1256

CHAPITRE XIX. – AVICULTURE 1259

1. Quelques données sur l'élevage intensif des volailles 1259
2. Quelques données sur l'élevage traditionnel et artisanal .. 1270
3. Pathologie aviaire 1288

CHAPITRE XX. – APICULTURE : ASPECTS DE L'APICULTURE EN AFRIQUE 1301

1. Notions générales sur l'apiculture 1301
2. Choix d'un mode de développement de l'apiculture dans une zone donnée 1310

CHAPITRE XXI. – PISCICULTURE 1321
1. Définitions et généralités 1321
2. Espèces utilisables en pisciculture 1322
3. La pisciculture intensive en étang 1324
4. La pisciculture intensive en cage flottante 1333
5. La pisciculture en enclos 1336
6. La rizipisciculture 1338
7. Les élevages associés à la pisciculture 1338
8. Aspects sanitaires de l'usage des eaux continentales tropicales 1339

QUATRIÈME PARTIE : ÉCONOMIE RURALE

CHAPITRE XXII. – ÉCONOMIE RURALE 1343
I. **Définitions de base en économie rurale tropicale** 1344
1. Le système rural 1344
2. Les facteurs de production 1349
3. Les systèmes d'exploitation 1355
4. L'élevage 1358
5. Le compte d'exploitation 1361
II. **L'observation et la collecte des données en agronomie tropicale** 1365
1. Le terroir 1365
2. L'unité de production familiale (UPF) 1366
3. Les facteurs de production 1368
4. Les paramètres de l'élevage 1372
5. Les résultats agronomiques 1375
6. Les résultats économiques 1377

CHAPITRE XXIII. – ÉLABORATION DES PROJETS 1395
I. **Définition d'un projet – Types d'analyses** 1396
1. Les différentes catégories de projets de développement rural . 1396
2. Les types d'analyses 1396
II. **Évaluation d'un projet** 1398
1. L'identification 1398
2. Le cadre d'élaboration 1398
3. L'évaluation financière et économique 1401
III. **Plan indicatif d'une étude de factibilité** 1413

CHAPITRE XXIV. – ÉLÉMENTS DE COMPTABILITÉ D'ENTREPRISE 1416
1. Comptabilité générale 1416
2. Comptabilité analytique d'exploitation 1429
3. Comptabilité prévisionnelle ou budgétaire 1430

CHAPITRE XXV. – LES APPLICATIONS DE LA STATISTIQUE EN AGRICULTURE TROPICALE 1431
1. Rappels théoriques 1431
2. Les enquêtes statistiques 1446
3. La statistique appliquée à l'expérimentation agronomique 1468

CHAPITRE XXVI. – FORMULAIRE 1489
1. Unités et conversion 1489
2. Caractéristiques physico-chimiques de divers corps 1503
3. Calculs de figures géométriques simples 1509
4. Densités de semis ou de plantations 1519

ANNEXES

Annexe 1 : Généralités géographiques succintes 1527
Annexe 2 : Bibliographie – Revues – Bases 1545
Annexe 3 : Sigles 1589
Annexe 4 : Adresses 1598
Annexe 5 : Index général 1601

ACHEVÉ D'IMPRIMER
SUR LES PRESSES DE
L'IMPRIMERIE CHIRAT
42540 ST-JUST-LA-PENDUE
EN JUIN 1991
DÉPÔT LÉGAL 1991 N° 4425

IMPRIMÉ EN FRANCE

Reconnu comme l'outil indispensable, la "bible" du praticien, LE MEMENTO DE L'AGRONOME fait depuis plus de 20 ans autorité auprès des hommes de terrain et des décideurs.

Cette quatrième édition revue et augmentée, vous explique tout, absolument tout, sur l'agriculture tropicale, la production animale, le développement rural et la protection de l'environnement dans les pays africains et malgache.

Elle est le fruit du travail collectif d'ingénieurs et de chercheurs des Instituts du CIRAD, de BDPA-SCETAGRI, de l'ORSTOM et du GRET, coordonné par les responsables de la sous-direction du développement rural du Ministère de la Coopération et du Développement.



Diffusion Nord et par correspondance :
LA DOCUMENTATION FRANÇAISE : 180 FF
29-31, quai Voltaire 75340 Paris Cedex 07
Tél : 40.15.70.00 Télex : DOCFRAN 204826 Paris

Diffusion Sud auprès des
Centres Culturels Français : 120 FF

ISBN 2-11-086725-6