

SEMINAIRE SUR LES SYSTEMES
D'EXPLOITATION
Ibadan , 16, 20 novembre 1970

FONDATION FORD
I. I. T. A.
I. R. A. T.

PROBLEMES POSES PAR LA FIXATION ET
L'INTENSIFICATION DE L'AGRICULTURE
EN ZONE TROPICALE SECHE

C. CHARREAU

Ingénieur de Recherches à l'I.R.A.T.

I. R. A. T.
OCTOBRE 1970.

S O M M A I R E

- I. - INTRODUCTION
2. - Définition et extension de la zone tropicale sèche;
principales caractéristiques climatiques et pédologiques.
 - 2.1.- Définition de la zone.
 - 2.2.- Caractéristiques climatiques
 - 2.3.- Caractéristiques agropédologiques.
3. - Evolution des sols, au cours de l'année, sous l'influence du climat.
 - 3.1. - Evolution pendant la saison des pluies.
 - 3.2. - Evolution pendant la saison sèche.
4. - Principaux types de végétation et influence de la végétation sur l'évolution du sol.
 - 4.1. - Principaux types de végétation.
 - 4.2. - Influences comparées des différentes formations végétales sur les propriétés physiques des sols.
 - 4.2.1.- Les mécanismes d'action
 - 4.2.2. - Les effets comparés des différentes formations.
 - 4.2.2.1. Caractéristiques hydrodynamiques des sols.
 - 4.2.2.2. Régime hydrique et thermique des sols.
 - 4.2.2.3. Structure du sol.
 - 4.2.2.4. Protection contre l'érosion
 - 4.3. - Influences comparées des différentes formations végétales sur la matière organique du sol.

4.4. - Influences comparées sur les propriétés chimiques et le bilan minéral des sols.

4.5. - Conclusions sur les influences comparées des différentes formations végétales.

5. - Les systèmes culturaux traditionnels.

5.1. - Description et principales caractéristiques.

5.2. - Les améliorations possibles à l'intérieur des systèmes de culture traditionnels et leurs conséquences.

5.2.1. - Les améliorations.

5.2.2. - Les insuffisances.

5.2.2.1. Propriétés physiques.

5.2.2.2. Propriétés chimiques

5.2.2.3. Propriétés biochimiques et matières organique.

5.2.3. Exemples d'évolution comparée des rendements au cours du temps dans les systèmes de culture traditionnels, améliorés ou non.

6. - Les systèmes culturaux intensifs.

6.1. - Les fondements techniques de ces systèmes.

6.1.1.- Défrichement, répartition des champs dans l'espace et modelé du terrain.

6.1.2. - Techniques culturales.

6.1.2.1. - Les labours

6.1.2.1.1. Effets sur le sol et les rendements

6.1.2.1.2. Labour et conservation du sol.

6.1.2.1.3. Remarque des labours

6.1.2.1.4. Modes de réalisation

6.1.2.1.5. Incidences pratiques pour l'exploitation

6.1.2.2. La précocité des semis.

6.1.3. - La fertilisation.

6.1.3.1. Objectifs poursuivis.

6.1.3.2. Méthodes et moyens

6.1.4. Les successions culturales.

6.1.4.1. Intérêt de la sole de régénération
en culture intensive.

6.1.4.2. Choix des cultures entrant dans la rotation
et règles de succession.

6.1.5. - Les autres composantes techniques.

6.2. - Les résultats à en attendre.

7. - CONCLUSION

PROBLEMES POSES PAR LA FIXATION ET
L'INTENSIFICATION DE L'AGRICULTURE EN ZONE TROPICALE SECHE

I.- INTRODUCTION -

La zone tropicale sèche, caractérisée par l'alternance d'une courte saison des pluies et d'une longue saison sèche, est actuellement l'une des grandes zones climatiques les plus défavorisées du point de vue agricole. Les rendements des cultures, et, notamment, des cultures céréalières, sont très faibles ; la gamme de cultures traditionnellement pratiquées est restreinte ; le climat est agressif et les risques d'érosion élevés dès que la pente est un peu forte ; les sols sont réputés fragiles et pauvres. Le recours à la culture itinérante ou semi-itinérante, impliquant l'abandon périodique des terrains à la végétation naturelle, est une pratique courante.

Les agronomes aux-mêmes ont longtemps admis comme une double fatalité la faible potentialité de ces régions et la nécessité de couper les cycles de production par des périodes plus ou moins longues de repos du sol. Les améliorations possibles dans ce contexte leur paraissaient limitées et les modifications proposées ne portaient pas sérieusement atteinte aux systèmes de culture traditionnellement pratiqués. Il s'agissait en fait de réformes et non de révolution.

Or, ces dernières années, un courant d'opinion inverse s'est dessiné parmi les agronomes. Nombre d'entre eux se fondant sur un ensemble de données expérimentales et de réalisations pratiques, estiment maintenant que les potentialités de cette zone ont été largement sous-estimées, que la culture fixée, continue et intensive y est possible, et qu'un bouleversement profond des systèmes de cultures actuellement pratiqués est nécessaire pour obtenir des niveaux de production inconnus jusqu'ici. En bref, ils pensent que la "révolution verte" peut et doit s'appliquer même à ces zones défavorisées, mais ne sous-estiment pas, pour autant, les grandes difficultés de sa mise en oeuvre.

Sur quels arguments se fondent-ils ? Quels sont les moyens préconisés et les difficultés rencontrées pour passer d'une agriculture extensive et semi-itinérante à une agriculture fixée, continue et intensive ? Quels

résultats agronomiques peut-on en attendre ? Tels sont les différents points qui seront évoqués ici. Les exemples et les données expérimentales seront empruntés à l'Afrique de l'Ouest, et plus particulièrement au SENEGAL, mais il est probable que les conclusions peuvent s'appliquer à l'ensemble des zones tropicales sèches dans le monde.

On définira d'abord la zone étudiée et son extension et l'on résumera ses caractéristiques climatiques et pédologiques importantes du point de vue agronomique. On examinera l'évolution du sol sous l'influence du climat, et l'incidence des divers types de végétation dans cette évolution.

On décrira ensuite les systèmes de culture traditionnels en examinant leur incidence sur l'évolution des sols et des rendements.

Enfin, on étudiera les principales composantes techniques des systèmes de culture fixée et intensive et leur influence sur le sol et les rendements.

2.- DEFINITION ET EXTENSION DE LA ZONE TROPICALE SECHE ;

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES ET PEDOLOGIQUES .

2.1. - Définition de la zone .

Pour la détermination de cette zone, on s'est fondé essentiellement sur des critères de durée de la saison des pluies. Ces critères ont été choisis volontairement simples : on a considéré comme mois pluvieux, tout mois dont la pluviométrie moyenne est supérieure à 50 mm.

La zone tropicale sèche comprend toutes les régions dont la durée de la saison sèche est supérieure ou égale à deux mois et inférieure ou égale à cinq mois. Si n est le nombre de mois pluvieux, on a ainsi :

$$2 \leq n \leq 5.$$

Ainsi définie, la zone tropicale sèche correspond sensiblement pour l'Afrique de l'Ouest aux zones climatiques sahélo-soudanaise et sahélo-sénégalaise définies par AUBREVILLE (1) ainsi qu'à la zone agroclimatologique étudiée conjointement par la F.A.O. , l'UNESCO et l'O.M.M. (10).

2.2. - Caractéristiques climatiques .

La caractéristique essentielle, du point de vue agronomique, est l'étroitesse de la saison des pluies : les plantes ne peuvent avoir une alimentation hydrique convenable que pendant une brève période de l'année ;

il est donc nécessaire que leur cycle végétatif soit assez court. A l'intérieur même de cette saison, la pluviométrie est le plus souvent irrégulière : grande variabilité interannuelle ; excès d'eau en milieu de saison par rapport aux besoins, contrastant avec des périodes déficitaires situées généralement au début et en fin de saison .

Un autre facteur défavorable est constitué par la très grande agressivité des pluies. Les hauteurs d'eau recueillies au cours d'une seule pluie sont souvent très importantes : il n'est pas rare d'observer des chutes de pluies de plus de 100 mm. Le débit des pluies est également très grand et les intensités mesurées sont parmi les plus fortes observées dans le monde. Au Sénégal , par exemple, on a calculé que près de la moitié des pluies tombait avec une intensité supérieure à 30 mm/h (7).

Il n'est pas étonnant, dans ces conditions , que les énergies cinétiques développées par ces pluies soient très importantes . Les indices d'érosivité calculés d'après les méthodes de WISCHMEIER (21) et de FOURNIER (14) fournissent des valeurs qui constituent , pour toute une partie de la zone, des records mondiaux. Il faut donc s'attendre à ce que les effets destructeurs de ces pluies sur le sol soient très marqués.

2.3. - Caractéristiques agro-pédologiques .

Pour l'Ouest Africain, la majorité des sols rencontrés dans la zone étudiée appartiennent aux groupes des sols ferrugineux tropicaux, des ferrisols, des sols ferrallitiques et des sols peu évolués sur matériaux meubles (D'HOORE, 1964 (12).

Ces différents sols présentent deux caractéristiques communes importantes du point de vue agronomique :

- la texture habituellement sableuse ou sablo-argileuse des horizons superficiels.
- la nette prédominance de la kaolinité dans la fraction argileuse du sol.

Quelle que soit la nature de la roche mère , la plupart des profils de sols ferrugineux tropicaux et ferrallitiques de la zone étudiée présentent en effet un horizon superficiel appauvri en argile. Les pédologues discutent encore de l'origine de cet appauvrissement : destruction progressive de la kaolinite, lessivage vertical ou oblique, variation dans le dépôt sédimentaire en liaison avec l'érosion et la formation du relief, ou combinaison de plusieurs processus. Quelle qu'en soit l'explication, le fait est cependant assez général.

La prédominance de la kaolinite dans la fraction argileuse de ces sols est également un fait général. Dans les sols ferrallitiques, il n'y a pratiquement pas d'autre minéral argileux, la kaolinite elle-même se trouvant dans un état d'altération plus ou moins poussé. Dans les sols ferrugineux tropicaux, on peut trouver, à côté de la kaolinite, un peu d'illite et de montmorillonite, mais la kaolinite est toujours nettement dominante.

De la combinaison de ces deux caractéristiques découle, pour le profil cultural une conséquence importante : l'inexistence ou le peu d'importance des phénomènes de gonflement et de retrait du sol consécutifs aux variations d'humidité. Pour les sols considérés, toutes les conditions se trouvent réunies pour que la fissuration du sol soit peu accentuée, voire inexistante. Or cette fissuration a un rôle important dans la division du sol et la création de la structure (15). On conçoit, alors que les facteurs mécaniques de travail du sol joueront un rôle d'autant plus grand dans l'action de division du sol et de création d'une structure, qu'ils devront pallier l'absence ou l'insuffisance des mécanismes naturels.

Du point de vue chimique, les horizons superficiels de ces sols sont le plus souvent caractérisés par une assez grande pauvreté : capacité d'échange faible (valeurs généralement comprises entre 2 et 5 me/100 g), taux de matière organique et d'azote assez bas (entre 1,5 et 3 % de matière organique, 0,3 et 2 % d'azote total), taux de saturation du complexe absorbant variable suivant l'histoire culturale (de 40 à 100 %), pH faiblement à franchement acide. La carence chimique la plus fréquente est celle du phosphore : il y a souvent moins de 200 mg de P_2O_5 total par kg de sol et 20 mg de P_2O_5 dit assimilable. En début de mise en culture, les teneurs en potasse échangeable, quoique basses, peuvent paraître suffisantes pour satisfaire les besoins des cultures. Mais les réserves sont généralement faibles et il est rare qu'après plusieurs années de culture, des carences potassiques ne commencent à se manifester.

3 - EVOLUTION DES SOLS AU COURS DE L'ANNEE, SOUS L'INFLUENCE DU CLIMAT

On distinguera deux périodes, caractérisées par des processus nettement différents d'évolution :

- la saison des pluies
- la saison sèche.

3.1 - Evolution pendant la saison des pluies

L'action des pluies à forte intensité se manifeste, sur les propriétés physiques du sol par deux processus: tassement et battance.

Le tassement du sol au cours de la saison des pluies peut être mis en évidence par la courbe d'évolution de la densité apparente. Des mesures effectuées au Sénégal (7) montrent que l'évolution peut être assez différente suivant les années et les types de sol mais qu'il se produit inévitablement une baisse importante de la porosité (de l'ordre de 5 à 6 points) au cours de la saison des pluies. Les phénomènes de battance, consécutifs à l'énergie cinétique élevée développée par les pluies, s'observent sur tous les types de sols. De faibles pentes suffisent pour que se manifestent un transport d'éléments terreux et une érosion plus ou moins intense. L'érosion intervient surtout en début de saison, lorsque le sol est peu couvert par la végétation; par la suite celle-ci modifie très sensiblement l'allure du phénomène.

En l'absence de couvert végétal, les mesures effectuées dans le Sud du Sénégal font ressortir des pertes en terre de 18 à 50 t/ha, suivant les années, pour des parcelles de 40 à 50 m de long, allongées dans le sens de la pente, et pour des pentes de 1 à 2 ‰. Il a été possible dans ces conditions de calculer la valeur de K, coefficient de susceptibilité des sols à l'érosion dans l'équation universelle de pertes en sol de Wischmeier (21). Celle-ci s'établit entre 0,04 et 0,17, soit à un niveau assez bas dans l'échelle américaine (0,10 à 0,50); d'après ces critères, les sols de Casamance (Sud Sénégal) se classent parmi les sols assez stables. L'importance des manifestations de l'érosion dans cette zone s'expliquerait donc bien davantage par le caractère exceptionnellement agressif des pluies que par une fragilité particulière des sols.

Du point de vue des propriétés chimiques et biochimiques, le début de la saison des pluies se caractérise par une reprise "explosive" de la vie microbienne et une minéralisation intense de l'azote. Cette période est extrêmement fugace et ne dure guère

plus de deux à trois semaines (2). Ce sont ensuite les processus de lessivage des éléments qui deviennent prédominants. Les études menées au Sénégal en cases lysimétriques font en effet ressortir que le drainage en sol sableux ou sablo-argileux se manifeste à 2 m de profondeur aux mois d'août et septembre pour des hauteurs de pluies annuelles variant entre 200 et 500 mm, (3). Le lessivage des sols est donc un phénomène général dans cette zone climatique en raison des fortes chutes de pluie qui se produisent pendant un temps relativement court. Même lorsque la hauteur de pluie annuelle est relativement faible, il peut y avoir un lessivage vertical non négligeable.

La hauteur d'eau drainée peut être très variable d'une année à l'autre. Elle dépend principalement de deux facteurs :

- l'allure de la pluviométrie,
- la nature de la végétation.

Concernant ce dernier point, on a pu comparer en 1969 à Bambey, les deux extrêmes que constituent des sols nus, sans végétation, d'une part, et des sols portant une végétation de friche naturelle bien fournie. Le drainage sous friche a été pratiquement nul cette année là. Par contre, sous sol nu, il a atteint en moyenne (3 types de sols, 2 répétitions) 142 mm, soit 22 % de la pluviométrie (5).

Sous culture ou jachère, à Bambey, le drainage varie entre 10 et 280 mm, soit entre 3 et 32 % de la pluviométrie. Les valeurs moyennes pour une période de 7 ans sont de 140 mm ou 21 % de la pluviométrie (3).

Si les hauteurs d'eau drainées sont assez variables d'une année à l'autre et d'une culture à l'autre, les compositions chimiques des solutions de drainage sont par contre relativement constantes. Elles paraissent davantage influencées par le type de sol que par la nature de la culture. Tous les éléments chimiques principaux sont présents, dans des proportions variables, dans les eaux de drainage à l'exception du phosphore, qui ne se retrouve qu'à l'état de traces. Parmi les cations, les plus fortes concentrations sont observées pour le calcium, le magnésium et, dans une moindre mesure, le potassium. Les anions dominants sont le chlore, les sulfates, bicarbonates, et nitrates.

Les quantités d'éléments exportées dans les eaux de drainage en profondeur sont bien davantage influencées par les hauteurs d'eau drainées que par les variations de composition des solutions de drainage. Une estimation moyenne pour le Sud du Sénégal fournit les valeurs moyennes annuelles suivantes pour les pertes par lessivage sous culture (6) :

Azote : 30 kg/ha de N

Potassium: 20 kg/ha de K_2O

Calcium : 150 kg/ha de CaO

Les pertes par lessivage sont augmentées lorsque la couverture du sol et la masse végétale sont insuffisantes, ce qui est le cas des cultures médiocres. Elles sont, de ce fait, plus faibles sous cultures ayant reçu une fertilisation convenable.

3.2 - Evolution du sol pendant la saison sèche

Du point de vue des propriétés physiques du sol, le processus essentiel pendant cette période est celui de l'évaporation intense qui se produit en fin de saison des pluies et qui aboutit à un assèchement poussé du profil. Consécutivement il se produit une augmentation très forte de la cohésion, une véritable "prise en masse" du sol, interdisant pratiquement tout travail profond du sol pendant une longue période, à moins de disposer de moyens de traction puissants.

Les processus biochimiques sont très ralentis, sinon inexistantes. On peut observer en fin de saison sèche une légère remontée du pH ainsi qu'une certaine accumulation de carbohydrates solubles (17).

4 - PRINCIPAUX TYPES DE VEGETATION ET INFLUENCE DE LA VEGETATION SUR L'EVOLUTION DU SOL

Les formations végétales naturelles de la zone tropicale sèche présentent une gamme variée allant de la steppe à épineux dans les régions les plus arides, à la forêt claire dans les zones les plus arrosées, en passant par les savanes herbeuses et boisées. Les terrains de culture sont rarement entièrement déboisés; les paysans conservent en général dans leurs champs les essences forestières les plus intéressantes, soit par leurs fruits, soit par leur bois; dans certains cas, il y a même un aménagement assez complet du paysage par constitution progressive d'un véritable parc arboré à partir d'essences sélectionnées. Le dessouchage est par ailleurs très incomplet. Lorsqu'un terrain de culture est abandonné en friche, il est d'abord colonisé par une végétation herbacée; mais, dès la première année, les souches rejettent et le peuplement arbustif tend à se reconstituer. Il faut toutefois attendre quelques années (de 4 à 10, suivant la pluviométrie) pour que le couvert arbustif ou buissonnant soit réellement important.

Dans les jachères de courte durée, la végétation est d'abord constituée de plantes annuelles. Il y a peu de graminées vivaces qui arrivent à franchir le barrage de la longue saison sèche et celles-ci mettent habituellement deux à trois ans avant de coloniser le terrain. Les herbes se dessèchent pour la plupart dès le mois d'octobre-novembre. La production des jachères herbacées est toujours assez faible; elle varie de 0,5 t/ha de matière sèche dans les zones les plus arides jusqu'à un maximum de 7 à 8 t/ha dans les régions les plus arrosées et dans les meilleurs terrains. Les valeurs moyennes se situent autour de 2 à 5 t/ha. Ces productions sont incomparablement plus faibles que celles des savanes tropicales humides et équatoriales où des niveaux de production de 70 t/ha de matière sèche ont été atteints (LAUDELOU 1962)(18)

Pour les arbres, la production annuelle de litière est peu connue. D'après DOMMERGUES (13), le chiffre de 5 t/ha représenterait une moyenne acceptable pour les forêts de la zone tropicale semi-humide (contre 15 t/ha en zone équatoriale).

Dans l'examen qui va suivre des influences comparées des différents types de végétation sur les propriétés du sol, on ne retiendra que trois grands types de formations végétales: forêts claires, jachères herbacées et cultures. Les données seront principalement fournies par le Sénégal (Sud Sénégal ou Casamance pour la comparaison forêt/culture; centre Sénégal pour la comparaison jachère herbacées/culture).

4.1. Influences comparées des différentes formations végétales sur les propriétés physiques des sols.

4.1.1. Les mécanismes d'action.

La végétation agit sur les propriétés physiques des sols par le couvert végétal protégeant les sols contre l'action dégradante du climat, par le système racinaire agissant sur la structure et, à long terme, par les restitutions organiques modifiant le bilan humique des sols.

Concernant le premier point, il apparaît que si, en saison sèche, le rôle du couvert végétal dans la protection du sol semble secondaire, il est, au contraire, primordial pendant la saison des pluies : des expériences très démonstratives ont été réalisées au Sénégal dans ce domaine (7). L'action structurante des racines, en l'absence de travail du sol préalable, paraît très faible ; ceci est à rapprocher de la faible aptitude des sols sableux ou sablo-argileux à se fissurer et à se diviser.

4.1.2. Les effets comparés des différentes formations.

4.1.2.1. Caractéristiques hydrodynamiques des sols

L'influence du couvert végétal sur les valeurs d'humidité aux différents μF ne se fait guère sentir que lorsque intervient une chute brutale en taux de matière organique, consécutive à la déforestation. C'est ce qui a été observé en Casamance à Séfa, où le taux de matière organique a baissé de 40 % par rapport à sa valeur initiale lors du défrichement. Ceci a entraîné une baisse sensible de la capacité de rétention et de la réserve d'eau utile dans les horizons superficiels (6).

Quelle que soit la méthode de mesure utilisée, on observe toujours une nette diminution de l'infiltration de l'eau dans le sol quand on passe de la forêt à une végétation de type herbacé : forêt ou culture. Il y a peu de différences, à ce point de vue, entre jachère et cultures, de même qu'entre différentes cultures.

Un exemple en sera fourni par les valeurs moyennes du ruissellement et de l'infiltration mesurés, en cases d'érosion à Séfa (Casamance), pendant quinze ans sous différentes formations

végétales. Ces valeurs sont les suivantes : (7)

	Hauteur d'eau ruisselée mm	Coefficient de	
		Ruissellement %	Infiltration %
Forêt	15	1,0	99,0
Jachères	200	16,6	83,4
Cultures	264	21,2	78,8
Sol nu	456	39,5	60,5

4.1.2.2. Régime hydrique et thermique des sols

Ceux-ci sont également totalement modifiés quand on passe d'une végétation forestière à une végétation de type herbacé. L'exemple de Séfa en Casamance, montre en effet que, la diminution de l'infiltration sous culture est plus que compensée par la réduction de l'évapotranspiration en saison sèche par rapport à la forêt. Le bilan hydrique annuel en fin de saison sèche, fait finalement ressortir un supplément de stockage d'eau dans le sol en faveur de la culture. Le processus se renouvelant chaque année, il n'est pas étonnant qu'une vingtaine d'années après le défrichage, le niveau de la nappe phréatique se soit élevé de 8 m et que le régime d'écoulement des thalwegs entaillant le plateau déboisé ait été complètement modifié (6).

A ce point de vue, il n'existe pas, par contre, d'opposition tranchée entre cultures et jachères herbacées. Un ou deux mois après l'arrêt des pluies, les herbes de la jachère sont mortes ou en état de vie très ralentie ; l'évapotranspiration est faible ; par ailleurs il n'y a pas d'exploitation des horizons profonds du sol. On se retrouve donc dans les mêmes conditions que la culture, avec toutefois un assèchement un peu plus poussé en général.

Entre les différentes cultures il n'y a pas non plus de différences essentielles. L'évapotranspiration est davantage influencée par le développement végétatif et la longueur du cycle que par la nature même de la plante cultivée.

Le régime thermique des sols sous forêts est également sensiblement différent de celui des sols sous jachères et cultures ; les différences se manifestent surtout en saison sèche :

en Casamance, la forêt abaisse de 8° les maxima journaliers dans l'horizon superficiel et diminue d'une dizaine de degrés les amplitudes thermiques journalières, par rapport à la culture (11).

4.1.2.3. Structure du sol

Cette notion, assez délicate à cerner, peut être appréhendée de diverses manières : examen morphologique, mesures de pénétrométrie, de densité apparente et de stabilité structurale. Toutes les observations et mesures effectuées au Sénégal montrent que si la structure du sol est nettement améliorée sous forêt il n'existe par contre que peu de différences, à ce point de vue, entre jachères et cultures (7).

4.1.2.4. Protection contre l'érosion

L'influence du couvert végétal dans la protection contre l'érosion peut être illustrée par les valeurs moyennes de pertes en terre mesurées en cases d'érosion à Séfa pendant une quinzaine d'années.

Ces valeurs sont les suivantes :

<u>Couverture végétale</u>	<u>Erosion t/ha</u>
Forêt	0,2
Jachères	4,9
Cultures	7,3
Sol nu	21,3

Comme on le voit, la forêt, brûlée ou non en saison sèche, protège beaucoup plus efficacement le sol que n'importe quelle autre formation végétale (jachère herbacée ou culture annuelle).

4.2. Influences comparées des différentes formations végétales sur la matière organique du sol.

Le niveau humique du sol, pour des conditions climatiques données, est fixé essentiellement par l'importance des apports végétaux. Il est relativement élevé sous forêt où les restitutions organiques sont importantes. En forêt claire de Casamance, par exemple, la production primaire nette de matière sèche serait de l'ordre de 7 à 8 t/ha, comprenant 5 t/ha de litière annuelle, et 2 à 3 t/ha de racines formées dans l'année (7).

Sous cultures et sous jachères herbacées, par contre, les seules restitutions organiques au sol sont celles du système racinaire, les parties aériennes étant chaque année brûlées ou exportées en totalité. Les tonnages seraient alors de 1 ou 2 t/ha, soit nettement moins que sous forêt (7).

Il faut donc s'attendre à voir baisser le stock humique du sol lorsque l'on passe de la forêt à la culture. C'est effectivement ce que l'on observe au Sénégal dans deux exemples assez différents : celui de la déforestation à Séfa et celui des champs complantés d'Acacia albida à Bambey.

A Séfa, une quinzaine d'années après défrichage et mise en culture, la perte de matière organique dans l'horizon superficiel (0 à 20 cm) est de l'ordre de 18 t/ha sur un total de 43,5 t/ha, soit, en valeur relative, 41 %. L'évolution est très rapide au départ, puisque un an après le défrichage 30 % de l'azote et du carbone ont disparu. Cette perte initiale importante semble pouvoir s'expliquer par l'érosion et le brûlis qui ont été la conséquence directe des travaux de défrichage ; il ne s'agit pas là du processus normal de dégradation de la matière organique qui fait intervenir concurremment : érosion modérée, lessivage et oxydation. Par la suite, la baisse se poursuit mais sur un rythme beaucoup plus lent (6).

A Bambo, la quantité de matière organique dans l'horizon superficiel du sol passe de 11,5 t/ha sans culture à 22,6 t/ha sous Acacia albid, pour des sols Dior très sableux.

Par contre, les différences entre terrains cultivés et terrains sous jachère herbacée non forestée, sont généralement peu sensibles et parfois inexistantes. Ceci peut s'expliquer par le fait que, dans les deux cas, les sources d'approvisionnement en matière organique sont équivalentes : elles sont constituées essentiellement par les systèmes racinaires, de poids à peu près identiques sous cultures et sous jachères.

4.3. Influences comparées sur les propriétés chimiques et le bilan minéral des sols.

Schématiquement, on peut considérer que l'appauvrissement chimique du sol dépend principalement de deux facteurs :

- Les exportations par les végétaux ;
- Les pertes par drainage.

Dans les cas des cultures couramment pratiquées dans la zone, les exportations réelles représentent une part très importante des mobilisations minérales car les résidus de récolte sont généralement assez faibles. La pratique de la culture continue conduit donc, en l'absence de fertilisants minéraux ou organominéraux, à un appauvrissement rapide du sol. Les exportations minérales sont par contre nulles ou très faibles sous jachères et sous forêts, à condition, toutefois, qu'il n'y ait pas de brûlis trop fréquents ; ceux-ci se traduisent en effet par des pertes d'azote et de soufre importantes.

Les quantités d'eau drainées et d'éléments solubles entraînés à plus d'un mètre de profondeur sont plus importantes sous culture que sous jachère, les pertes sous jachères étant elles-mêmes plus élevées que sous forêts. Ces différences tiennent surtout aux plus faibles évapotranspirations observées, en début de saison, sur cultures et jachères. Cependant, au regard du bilan global des exportations, elles ne paraissent pas très accentuées.

Dans ce bilan, le facteur de différenciation le plus important entre formations végétales est le processus de compensation des pertes des horizons superficiels.

par prélèvements dans les horizons profonds du sol, processus que l'on observe uniquement dans le cas d'une végétation forestière. Dans ce cas, en effet, l'enracinement peut descendre à plusieurs mètres de profondeur alors que l'essentiel de l'appareil racinaire des cultures annuelles et des jachères herbacées est concentré dans le premier mètre superficiel. Les éléments minéraux prélevés en profondeur sont ensuite mobilisés dans les parties aériennes et, chaque année, une partie de ceux-ci fait retour au sol sous forme de brindilles, feuilles et fruits. Il y a alors un véritable enrichissement des couches superficielles aux dépens des couches profondes du sol. Ceci explique que les horizons de surface des sols situés sous forêt, ou même sous les arbres isolés parsemant les champs de culture, soient beaucoup plus riches en tous éléments minéraux que les jachères ou terrains de culture avoisinants.

A titre d'exemple, à Bamby, sous Acacia alba, les taux d'accroissement à proximité de l'arbre vont de 1,3 à 4,9 suivant les éléments considérés (9).

A Séfa, vingt ans après le défrichement, les sols se sont considérablement appauvris en tous éléments, l'appauvrissement étant imputable non seulement aux exportations par les récoltes, mais aussi du fait que les pertes par drainage n'étaient plus compensées par les remontées à partir des horizons profonds. Ceci est particulièrement vrai pour les cations échangeables : calcium et magnésium ; la conséquence en a été une baisse spectaculaire du taux de saturation du complexe absorbant, passant en quinze ans de 90 % à 50 % en moyenne, et du pH passant de 6,4 à 4,8 (6).

Ce processus compensateur est propre à la végétation forestière ou arbustive à enracinement profond. L'importance accordée par beaucoup d'auteurs, et en particulier Nye et Greenland (19), Laudelout (18), au rôle d'une jachère forestière de longue durée dans la reconstitution du potentiel chimique des horizons superficiels du sol, s'explique ainsi parfaitement.

Par contre, ce processus ne joue pas, ou très peu, dans le cas des jachères de courte durée, à dominante herbacée. Celles-ci exploitent, en effet, par leur système racinaire, les mêmes couches superficielles de sol que les cultures annuelles. Elles ne peuvent que maintenir la fertilité chimique de ces couches en restituant les éléments minéraux qu'elles y ont prélevés ; encore faut-il que ces éléments soient intégralement restitués, ce qui n'est pas le cas pour l'azote et le soufre dont une grande partie est perdue au moment des brûlis.

4.4. Conclusion sur les influences comparées des différentes formations végétales.

A l'examen des effets comparés de ces types de végétation sur les diverses propriétés du sol, il ressort avant tout une opposition marquée entre végétation de type forestier ou arbustif d'une part, végétation de type herbacé, d'autre part, qu'il s'agisse ici de cultures annuelles ou de jachères. La déforestation s'accompagne inévitablement d'une péjoration de l'ensemble des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, d'un bouleversement de leurs régimes hydriques et thermiques et d'une nette aggravation de l'érosion. Il s'agit cependant d'un préalable indispensable à la mise en valeur agricole et il faut donc regarder cette opération comme un mal nécessaire. Il était permis de penser qu'à défaut de végétation forestière, la végétation herbacée des jachères aurait pu jouer, dans une certaine mesure, le même rôle bénéfique sur les propriétés des sols et leur comportement vis-à-vis des agents climatiques. Après examen, il apparaît que, pour la zone étudiée, il n'en est rien, et que l'action des jachères herbacées se distingue très peu, à cet égard, de celles des plantes cultivées, surtout céréalières.

De ces observations, découle, sur le plan agronomique, le corollaire suivant : autant les jachères longues, forestières ou arbustives, peuvent être regardées comme un moyen efficace d'améliorer l'ensemble des propriétés du sol et de reconstituer sa fertilité, autant les jachères courtes, à dominante herbacée, incluses dans la rotation, paraissent peu propres à remplir cet office. Les résultats agronomiques obtenus dans divers systèmes culturels, faisant appel ou non à la jachère, viendront confirmer ainsi qu'on va le voir, cette analyse.

5 - LES SUCCESSIONS CULTURALES TRADITIONNELLES

5.1. Descriptions et principales caractéristiques

Ne pouvant prétendre ici passer en revue les divers systèmes pratiqués en zone tropicale sèche, on s'attachera seulement à en souligner les principales caractéristiques et à fournir quelques exemples empruntés au Sénégal. Ce pays paraît en effet assez représentatif de la zone étudiée.

De même que dans les autres pays de la zone, les successions culturelles ont subi, au Sénégal, de profondes modifications à la suite du développement des cultures commercialisées : arachide, puis coton. Ces changements ont acquis une importance telle que toutes les ethnies et toutes les régions du Sénégal sont entrées, peu ou prou, dans le système d'économie monétaire. Par ailleurs, la pression démographique a augmenté fortement ces dernières années mais inégalement suivant les régions. Ces deux facteurs ont eu des répercussions sensibles sur l'importance respective des différentes cultures, la nature de la rotation, la place et la durée des jachères dans la rotation.

On ne peut donc plus parler de systèmes traditionnels au sens strict ; ceux-ci, axés sur les cultures vivrières et assurant un niveau de production médiocre, présentaient l'avantage de respecter à peu près l'équilibre du milieu. Les systèmes actuellement pratiqués, copies altérées des anciens, ne fournissent pas un niveau de production supérieur mais sont en déséquilibre par rapport au milieu et conduisent à un appauvrissement du sol.

La culture itinérante, au sens strict du terme, c'est-à-dire impliquant à intervalles périodiques, le déplacement à la fois du village et des champs de culture, est assez rare au Sénégal. Par contre l'agriculture semi-itinérante, caractérisée par la fixité du village et la rotation dans l'espace des cultures et des friches de longue durée est un cas général dans les zones à faible pression démographique.

Le village est très généralement entouré d'une auréole de terrains de culture, régulièrement fumés par le troupeau et les résidus ménagers et consacrés surtout à la culture des céréales à court cycle (mil hâtif, maïs) destinée à la soudure. L'extension de cette zone est fonction de l'importance du troupeau ; elle est donc assez variable. A l'extérieur de cette auréole, la succession culturelle la plus habituellement pratiquée est l'alternance céréale-arachide ; en fin de rotation, la fertilité des sols baissant, l'arachide tend à prédominer nettement sur la céréale. Les terrains sont ensuite laissés en friche.

La durée de cette friche est essentiellement fonction de la pression démographique. Si celle-ci est faible, les terrains seront abandonnés pendant plusieurs années et nécessiteront un véritable défrichement lors de la nouvelle mise en culture ; on peut alors parler d'agriculture semi-fixée. Si au contraire la pression démographique est forte, la proportion de jachères diminuera jusqu'à moins du tiers ou du quart des terres cultivables. Les jachères longues disparaîtront pratiquement au bénéfice des jachères de courte durée (un ou deux ans). L'agriculture sera ainsi obligatoirement fixée.

Les exemples d'agriculture intensive, sans intercalation de période de "repos" du sol, ne sont donc pas rares en agriculture traditionnelle : terrains régulièrement fumés autour des villages et consacrés presque exclusivement à la culture ininterrompue de céréales, plaques de sols argileux où le sorgho succède au sorgho, bas fonds inondés continuellement exploités pour la riziculture.

Cependant, ces cas de culture continue ne constituent que des exceptions notables à la règle de l'alternance des cultures avec l'intercalation de "périodes de repos" du sol, de plus ou moins longue durée. Tant que la pression démographique n'est pas trop forte, cette règle est généralement respectée au Sénégal, comme d'ailleurs dans la majorité des zones tropicales sèches.

Les principales caractéristiques des systèmes de culture actuellement pratiqués en zone tropicale sèche ouest africaine sont connues. On peut cependant rappeler les points suivants :

- défrichement progressif et dessouchage insuffisant,
- culture semi-itinérante; cycles de production entrecoupés de friches dont la durée tend à diminuer de plus en plus,
- absence d'intégration agriculture-élevage entraînant comme conséquences :
 - . l'impossibilité d'effectuer des travaux profonds du sol,
 - . l'impossibilité d'effectuer des restitutions organiques au sol par enfouissement,
- maîtrise insuffisante de l'herbe en raison du manque d'équipement adéquat,
- fertilisation minérale absente ou très insuffisante,
- gamme restreinte de plantes dans le système de cultures,
- successions culturales plus ou moins anarchiques,
- recours assez fréquent aux associations de plantes sur le même champ,

- faible utilisation des variétés sélectionnées,
- lutte phytosanitaire inconnue ou très peu répandue.

Sur le plan des rendements, les résultats obtenus dans de tels systèmes sont très médiocres. Le capital sol n'est pas conservé pour autant de sorte qu'au bout d'un certain nombre d'années les champs sont abandonnés et de nouvelles terres doivent être défrichées, dans la mesure toutefois où existent encore des terrains disponibles. Siband (20), travaillant en Haute-Casamance, a bien mis en évidence la réalité de cet appauvrissement des sols en culture traditionnelle. Il a comparé en effet des terrains de culture sur défriches d'âges différents, situées sur des terrains initialement identiques :

- défriche ancienne : une cinquantaine d'années
- défriche moyenne : une vingtaine d'années
- défriche récente : cinq à six ans
- terrains forestés.

L'examen comparé des résultats analytiques fait ressortir, de façon remarquable, la chute progressive de fertilité des sols en fonction de l'âge de la défriche. Toutes les propriétés des sols sont affectées par la baisse : teneur en matière organique, richesse en argile (du fait de l'érosion en nappe), capacité d'échange et cations échangeables, pH, phosphore. C'est ce dernier élément qui paraît subir le moins de variations. Il faut cependant souligner que les teneurs initiales en phosphore, sous forêt, sont déjà très faibles. Ce sont la matière organique, le complexe absorbant et le pH qui subissent la baisse la plus marquée.

Il n'est pas étonnant, dans ces conditions, que le choix des terrains en fonction de l'ancienneté de la défriche se soit révélé en Casamance un facteur déterminant de réussite pour l'implantation de la nouvelle culture, assez exigeante, que constitue le riz pluvial.

5.2. Les améliorations possibles à l'intérieur des systèmes de culture traditionnels et leurs conséquences

5.2.1. Les améliorations

Les agronomes ont d'abord cherché à améliorer le système existant sans en bouleverser les fondements et en ne mettant en oeuvre que des techniques adaptées aux très faibles possibilités financières des paysans. Les efforts ont porté successivement ou simultanément sur les points suivants :

- utilisation de variétés sélectionnées à plus hauts rendements et meilleure résistance aux maladies ;
- protection phytosanitaire des semis par désinfection des semences (opération très peu coûteuse) et, dans certains cas, de la culture (cotonnier) ;
- amélioration des techniques culturales, en particulier : densité de semis ; semis en lignes facilitant le désherbage ; semis, façons d'entretien et récolte à bonnes dates ; adoption d'un petit matériel léger pour faciliter les semis, l'épandage d'engrais, les façons d'entretien ;
- utilisation de doses faibles d'engrais sur les cultures les plus rentables, de façon à ne pas trop grever la trésorerie des paysans ;
- respect de successions culturales définies et recours périodique à la jachère courte.

L'adoption de cet ensemble de techniques a permis de faire progresser très nettement la production et les rendements, surtout pour des cultures peu exigeantes telles que l'arachide et, dans une moindre mesure, le cotonnier. Les résultats ont été par contre beaucoup moins convaincants sur les céréales.

Par ailleurs, il faut souligner que, malgré la relative modestie des rendements obtenus et, donc, des exportations, ces systèmes sont impuissants à maintenir à long terme la fertilité des sols, encore moins à l'améliorer. Ils ne peuvent donc constituer une solution agronomiquement satisfaisante.

5.2.2. Les insuffisances

Elles intéressent les différentes propriétés du sol : physiques, chimiques et biologiques.

5.2.2.1. Propriétés physiques

Le principal défaut de ce système tient à ce qu'il ne modifie en rien les propriétés physiques du sol. Or celles-ci sont originellement defectueuses : les sols de ces régions ne constituent pas, habituellement, un milieu favorable à l'implantation et au développement des systèmes racinaires.

Ainsi qu'on l'a vu plus haut, les mécanismes naturels ne jouent pas en faveur de la création d'une structure, mais, au contraire, de sa dégradation.

La texture des horizons superficiels est généralement à dominante sableuse ; la composition granulométrique et la nature de ces sables sont souvent tels qu'ils favorisent un tassement important du sol. Il n'est pas rare, dans ces conditions, d'observer des porosités globales inférieures à 40 % et même à 35 %. Les racines ont du mal à s'implanter dans de tels milieux. Il est nécessaire, au préalable, d'améliorer la structure et la porosité.

Or, ainsi qu'on l'a vu plus haut, la végétation herbacée est incapable, à elle seule, d'améliorer cette structure. Il est nécessaire, pour cela, d'avoir recours aux facteurs mécaniques en réalisant périodiquement des façons profondes de préparation du sol. La façon la plus courante est le labour à la charrue, mais elle n'est pas la seule.

La réalisation de tels travaux profonds de préparation du sol pose le problème de la force de traction et du matériel de culture. Quelle que soit la solution adoptée : motorisation ou attelages bovins, elle entraînera pour l'exploitation agricole un certain bouleversement et nécessitera des dépenses d'investissements relativement importantes. C'est pourquoi beaucoup d'agronomes hésitent encore à franchir ce pas. Il est pourtant indispensable de le faire si l'on veut créer un milieu physiquement favorable à l'implantation des systèmes racinaires des plantes cultivées, améliorant aussi leur alimentation hydrique et minérale et, en fin de compte, les niveaux de rendements.

5.2.2.2. Propriétés chimiques

Les faibles fumures minérales utilisées, si elles procurent des suppléments de rendements souvent intéressants, ne permettent pas de maintenir intégralement la fertilité chimique

des sols. A fortiori, ne peut-on attendre d'elles qu'elles corrigent les carences fondamentales du sol et amènent celui-ci à son potentiel de productivité.

La simple confrontation des quantités d'éléments apportés par ces fumures et des exportations par les récoltes suffira à en fournir la preuve. On prendra pour exemple les fumures minérales actuellement recommandées, pour la culture traditionnelle, dans la majeure partie du Sénégal. On peut alors pour les deux principales cultures : arachide et mil, dresser le tableau suivant :

Comparaison des quantités d'éléments apportés par les engrais et des exportations minérales de l'arachide et du mil; Sénégal.

Nature de la plante	Entrées et sorties	Objet	Eléments kg/ha			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Arachide	Apports	150 kg/ha d'une formule 6-20-10	9,0	30,0	15,0	28,5
	Exportations	par les gousses : 2 T/ha	76,0	10,0	16,0	3,0
		par les fanes : 3 T/ha	45,0	9,0	36,0	42,0
	Bilan	après exportation de la plante entière	-	+ 11,0	- 37,0	+ 16,5
Mil	Apports	150 kg/ha d'une formule 14-7-7	21,0	10,5	10,5	9,9
	Exportations	par les épis : 1,5 T/ha de grains	28,5	15,0	16,5	3,9
		par les apilles : 9 T/ha	36,0	14,4	18,0	36,0
	Bilan	Après brûlis des pailles	- 43,5	- 4,5	- 6,0	+ 6,0

Pour dresser ce tableau, on a retenu des éléments suivants :

- . les niveaux de production, relativement modestes, correspondant à ce que l'on peut espérer, habituellement, après fertilisation légère.
- . les calculs d'exportations ont été faits en se fondant sur une moyenne de résultats d'analyse obtenus tant à l'IRAT qu'à l'IRHO - Sénégal.
- . pour l'arachide, le bilan a été fait en considérant que la plante entière est exportée : les fanes constituent, en effet, un aliment de choix pour le bétail ; le bilan d'azote n'a pas de signification réelle car une bonne partie de l'azote contenue dans la plante provient directement de l'air, par fixation symbiotique.
- . pour le mil, on a considéré que l'épi était exporté en totalité et que les pailles restaient sur place et étaient brûlées au cours de la saison sèche ; on a alors estimé que la totalité de l'azote était perdue alors que les autres éléments minéraux (sauf le soufre, non pris en considération ici) étaient intégralement restitués ; il s'agit naturellement là d'un "modèle" assez théorique, car, dans la pratique, les choses ne sont pas si simples : une partie, difficilement évaluable, des pailles est exportée comme nourriture pour les animaux et le brûlis doit entraîner quelques pertes de phosphore et potasse : par contre, il se peut que tout l'azote ne soit pas perdu.

A l'examen du tableau, on note que, pour l'arachide, le bilan est nettement déficitaire pour la potasse, et dans une moindre mesure, pour la chaux ; il est par contre légèrement favorable pour le phosphore. En ce qui concerne le mil, les bilans minéraux sont entièrement négatifs, sauf pour la chaux. Le déficit le plus lourd est de loin celui de l'azote.

Ces bilans ne tiennent pas compte des pertes par lessivage, plus difficiles à évaluer. Or, celles-ci sont loin d'être négligeables. Rappelons que des estimations faites en Moyenne-Casamance, région à forte pluviométrie, fournissent les ordres de grandeur suivants (6) :

Azote	:	30 kg/ha/an de N
Potassium	:	20 kg/ha/an de K_2O
Chaux	:	150 kg/ha/an de CaO

On voit que, pour la chaux, les pertes par lessivage sont en fait beaucoup plus importantes que les exportations par les cultures.

Les fumures actuellement vulgarisées ne peuvent donc être considérées comme des fumures "d'entretien" satisfaisantes, sauf en ce qui concerne le phosphore.

A plus forte raison ne peut-on espérer qu'elles agissent en fumures de "redressement" et corrigent les carences initiales des sols. Cette correction met en effet en jeu des quantités importantes d'éléments. Pour le Sénégal elles sont de l'ordre de :

200 à 500 kg/ha de P_2O_5

100 à 200 kg/ha de K_2O

500 à 2500 " de CaO

suivant l'état chimique du sol, révélé par les analyses (6).

Les formules de fumures utilisées sur arachide peuvent cependant, à la longue, atténuer la carence en phosphore, puisqu'elles se trouvent légèrement excédentaires en cet élément ; ceci explique par ailleurs qu'on puisse observer des arrières actions de cette fumure sur les céréales succédant à l'arachide.

5.2.2.3. Propriétés biochimiques et matière organique.

L'absence de bétail de trait lourd et de charues rend impossible l'enfouissement des matières organiques : matière verte, résidus de récolte pailleux, compost et fumiers. L'amélioration du bilan humique du sol ne peut donc provenir ici que d'un accroissement du système racinaire, grâce aux techniques culturales mieux adaptées et à la fertilisation légère. Ceci n'est pas négligeable mais ne saurait être suffisant. Dans les meilleurs cas on ne peut guère espérer, en effet, par cette méthode, synthétiser annuellement plus de 1 t/ha d'humus. Or ce chiffre correspond à peu près aux estimations des pertes annuelles par minéralisation (coefficient K compris entre 0,02 et 0,05) (6).

La quasi totalité de l'azote contenu dans les pailles étant perdue lors des brûlis, il s'ensuit que le stock d'azote, donc de matière organique du sol, ne peut aller qu'en diminuant. A ce point de vue, la situation n'est guère différente de ce qu'elle est dans les systèmes traditionnels. Le recours pé-

riodique à la jachère herbacée ne peut, comme nous l'avons vu, jouer de rôle efficace dans ce domaine. Par contre l'apport des faibles fumures (azotées) et l'amélioration des techniques culturales peuvent contribuer à ralentir le rythme de diminution.

5.2.3. Exemples d'évolution comparée des rendements au cours du temps dans les systèmes de cultures traditionnels, améliorés ou non.

Ces exemples seront empruntés à l'IRHO (16) qui a comparé à Darou (Sine-Saloum, Sénégal) l'évolution des rendements en arachide et en céréale dans deux rotations :

- Biennale arachide-céréale
- Quinquennale : jachère - jachère - arachide - céréale - arachide

en présence ou en absence d'une fumure minérale faible (120 kg/ha de 6 - 20 - 10 sur arachide et 100 kg/ha d'une formule 14-7-7 sur céréale).

La céréale a été d'abord le mil, puis le sorgho. L'évolution des rendements a été suivie sur deux essais voisins.

De ces essais on peut tirer, pour l'arachide, les ordres de grandeur suivants :

Evolution comparée des rendements en gousses d'arachide (kg/ha) à Darou dans une rotation continue et dans une rotation avec jachère.

Rotations Nbre d'années après mise en culture	sans engrais		avec engrais	
	Rotation continue	Rotation avec jachère	Rotation continue	Rotation avec jachère
1-2	2150	2150	2600	2600
4-5	1500	1900	2050	2550
7-8	1300	1650	1950	2400
10-11	1200	1550	1950	2250

Onze ans après la mise en culture les rendements paraissent à peu près stabilisés en culture continue et continuer à baisser légèrement pour la rotation avec jachère.

Comme on le voit, il y a dans tous les cas, sur ces essais, une baisse sensible des rendements en fonction du temps de mise en culture. Cette baisse est très marquée pour les cultures sans engrais. Avec engrais, la baisse subsiste mais elle est moins sensible. Dans les deux cas l'intercalation de jachère dans la rotation limite la chute de rendements. Toutefois, au bout de 10 à 11 ans de mise en culture la différence entre les deux rotations n'est pas considérable puisqu'elle est de l'ordre de 300 kg/ha, en présence d'engrais.

Pour la céréale (mil, puis sorgho) à partir des mêmes données on peut dresser le tableau suivant :

Evolution comparée des rendements en céréales (kg/ha) à Darou dans une rotation continue et dans une rotation avec jachère.

Rotations Nbre d'années ap. mise en culture	Sans engrais		Avec engrais	
	Rotation continue	Rotation avec jachère	Rotation continue	Rotation avec jachère
1-2	730	530	950	850
4-5	460	440	660	760
7-8	250	420	480	725
10-11	150	460	390	750

Le niveau initial de fertilité est légèrement plus élevé dans l'essai en rotation continue. La baisse de rendements dans cet essai est ici beaucoup plus marquée que pour l'arachide et les différences relatives entre les deux rotations beaucoup plus accusées puisqu'elles vont, au bout de 10-11 ans de culture, du simple au double ou au triple. L'intercalation de la jachère dans la rotation permet de maintenir les rendements à peu près au niveau initial. Cependant, ces résultats nous paraissent avoir une portée assez limitée. On notera en effet que, dans le meilleur cas, celui de la rotation quinquennale avec engrais, les rendements se maintiennent à un niveau moyen de 750 kg/ha. Or on obtient couramment en bonne culture, dans ces conditions de sols et de climat, plus de 2 t/ha de grains de sorgho.

Le bas niveau des rendements dans l'essai doit pouvoir s'expliquer essentiellement par la nette insuffisance d'apport d'engrais minéraux, surtout azotés. On peut penser que la rotation continue, en augmentant les exportations, accroît encore la gravité des carences minérales : il n'est donc pas étonnant, dans ces conditions, d'observer une baisse rapide des rendements. On ne saurait cependant en tirer des conclusions en ce qui concerne le rôle de la jachère sur la production du sorgho, en dehors de son incidence évidente sur le bilan minéral.

De ces exemples, ainsi que d'autres résultats expérimentaux non mentionnés plus haut, on peut retenir les conclusions suivantes :

- la culture continue sans engrais et sans travail du sol amène des baisses de rendements rapides et importantes : les rendements se stabilisent à un niveau médiocre pour l'arachide ; pour la céréale, ils deviennent rapidement dérisoires ; l'intercalation de jachère dans la rotation ralentit ce processus sans toutefois le renverser ;

- en présence d'engrais, les rotations avec jachères courtes, permettent de maintenir les rendements de l'arachide au niveau initial pendant une longue période ; en rotation biennale continue une légère baisse peut se produire au bout de quelques années mais les rendements se maintiennent à un niveau correct, proche de celui de la rotation quinquennale : l'avantage économique reste dans tous les cas à la rotation intensive.

L'insuffisance des apports d'engrais minéraux ne permet pas, à partir des résultats expérimentaux mentionnés plus haut, de tirer de conclusions sur l'évolution des rendements en fonction du temps pour le sorgho et sur le rôle spécifique de la jachère dans cette évolution (en dehors de son incidence sur le bilan minéral).

Il importe maintenant de voir si d'autres systèmes culturels permettent à la fois de maintenir et même d'augmenter la fertilité du sol, de cultiver le sol sans interruption et d'accroître très sensiblement les rendements.

6 - LES SYSTEMES CULTURAUX INTENSIFS

6.1 - Les fondements techniques de ces systèmes

6.1.1 - Défrichement, répartition des champs dans l'espace et modelé du terrain

Le défrichement en culture traditionnelle est habituellement assez progressif. On commence par tuer les arbres en pratiquant une incision annulaire de l'écorce; une fois l'arbre mort, le feu passe une ou plusieurs fois et le calcine; l'arbre est ensuite abattu et un dessouchage, le plus souvent très incomplet, est pratiqué. Cette technique présente des inconvénients sérieux pour la culture mécanisée. Cependant elle offre l'avantage de ne pas trop bouleverser le sol et de ne pas entraîner des dégâts érosifs trop sérieux. Ceci n'est pas toujours le cas des défrichements préluant à l'installation des cultures intensives, surtout lorsqu'il est fait recours à la motorisation. De gros engins de terrassement sont utilisés pour abattre les arbres puis les ranger en andains avant d'y mettre le feu. Des lames fouillent le sol à grande profondeur pour couper et extirper les racines. Tout ceci se traduit par un bouleversement complet du sol, une dégradation brutale de la structure donnant prise à une érosion intense. Ceci explique qu'en Moyenne Casamance, par exemple, on ait trouvé une brusque péjoration des propriétés physiques du sol et une forte baisse des taux de carbone et d'azote aussitôt après le défrichement (6).

Bien que la comparaison des effets sur le sol des deux méthodes de défrichement n'ait pas, à notre connaissance, été testée, il ne paraît guère douteux, qu'à ce point de vue, la méthode traditionnelle ne soit préférable. Il conviendrait de s'en inspirer et, tout en effectuant un dessouchage complet, - indispensable pour la culture mécanisée -, de traiter le sol avec plus de ménagement; on pourrait, par exemple, recourir, de façon plus généralisée, à l'empoisonnement chimique des arbres.

La répartition des champs dans l'espace pose également quelques problèmes. En culture traditionnelle les champs sont le plus souvent de dimensions restreintes et plus ou moins isolés les uns des autres par des bandes laissées en friche; les cultures composent sur le terrain de véritables mosaïques. Ce dispositif présente un moyen de lutte efficace contre le ruissellement et l'érosion.

En culture intensive, par contre, pour des raisons de commodité et d'organisation du travail, on regroupe fréquemment les cultures en vastes blocs d'un seul tenant. Ceci peut être dangereux dès que le terrain présente une certaine pente, même légère. Le ruissellement ne rencontre plus, en effet, d'obstacles et peut acquérir, en bas de pente, une force érosive considérable.

Il faut, dans ces conditions, prendre certaines précautions :

- disposition des champs et des voies d'accès tenant compte de la topographie,
- cultures en bandes alternées et suivant les courbes de niveau,
- confection, à la charrue, de petits ados complantés d'herbes vivaces et étagés suivant la pente.

Dans le Sud du Sénégal, on recommande des espacements de 40 à 50 m entre ados, pour des pentes inférieures à 3 %.

Ces mesures paraissent suffisantes pour enrayer efficacement l'érosion sans qu'il soit nécessaire de faire appel aux dispositifs avec écoulement contrôlé des eaux de ruissellement (terrasses à lit en pente), beaucoup plus difficiles à mettre en oeuvre en milieu paysan.

6.1.2 - Techniques culturales

Dans le vaste ensemble que constituent les techniques culturales, nous ne retiendrons ici que deux facteurs qui nous paraissent particulièrement importants pour la réussite de cultures fixées et intensives :

- les travaux de préparation profonde du sol, et en particulier les labours,
- la précocité des semis.

6.1.2.1 - Les labours

6.1.2.1.1 - Effets des labours sur le sol et les rendements

Le rôle des labours dans le système cultural peut, ainsi qu'on l'a vu, se schématiser ainsi :

- création d'une structure et d'une porosité du sol favorable à l'enracinement des plantes cultivées,
- découlant de cela: meilleure alimentation hydrique et minérale des plantes,
- rendements agricoles accrus dans de fortes proportions.

L'important ensemble de données expérimentales réuni par l'IRAT au Sénégal et dans d'autres pays d'Afrique de l'Ouest (plusieurs centaines de résultats) (7) montre que toutes les plantes cultivées, sans exception, réagissent favo-

ramblement au labour, mais que le degré de réponse est variable suivant la nature de la culture. Ce sont les céréales, et en particulier le maïs, le sorgho et le riz pluvial qui tirent le meilleur parti de l'amélioration de structure ainsi réalisée. A l'inverse, c'est l'arachide qui paraît réagir le moins, surtout quand il y a enfouissement de matière végétale. Les accroissements moyens de rendements vont de 10 % (arachide) à plus de 100 % (riz pluvial) suivant la nature de la culture. Les cas de réponses nulles ou négatives sont très rares et peuvent, la plupart du temps, s'expliquer par des techniques de réalisation défectueuses.

Outre ces effets directs sur l'enracinement, la croissance et les rendements des cultures, les labours ont un rôle très important dans la pratique agricole courante: celui de faciliter très notablement la lutte contre les adventices. Au Sénégal, on considère qu'un labour bien fait peut économiser un ou deux binages. Or la lutte contre l'herbe constitue le souci majeur des paysans et le premier goulot d'étranglement de la production agricole dans la zone étudiée.

Enfin, le labour joue un rôle important en permettant l'enfouissement des matières végétales et la restitution au sol des résidus de récolte, transformés ou non. Malgré le gaspillage qui se produit au moment des brûlis, les éléments tels que P, K, Ca .. pourraient, à la rigueur, faire retour au sol sous forme de cendres solubles. Mais l'azote et le soufre seraient irrémédiablement perdus, avec toutes les conséquences que cela entraînerait pour le bilan humique du sol. Par ailleurs, la matière végétale enfouie a un rôle spécifique améliorant sur la structure du sol et sa conservation, qui vient s'ajouter à l'action propre du labour.

6.1.2.1.2 - Labour et érosion

Malgré tous ces avantages, le travail profond du sol et, notamment, le labour, ont en zone tropicale, une fâcheuse réputation en ce qui concerne la conservation du sol. Les cris d'alarme ne manquent pas, en littérature agronomique tropicale, mettant en garde contre la charrue dévastatrice de sols. Il est certain que de telles craintes ne sont pas sans fondements et qu'un travail du sol défectueux ou réalisé à une période défavorable peut entraîner des conséquences désastreuses pour le sol, étant donné l'agressivité des facteurs climatiques. Cependant, les données expérimentales venant étayer cette opinion sont fort peu fournies.

En sens inverse, on peut faire état de mesures précises réalisées en cases d'érosion dans le Sud Sénégal et comparant sur un sol nu l'action du labour sur le développement de l'érosion (8). Il s'est avéré, dans ces conditions que, non seulement la hauteur d'eau ruisselée était plus faible, mais encore que la turbidité spécifique dans la nappe ravinante était inférieure sur labour. L'érosion, étant le produit de ces deux facteurs, se trouve près de trois fois inférieure sur labour

que sur témoin non travaillé (6,5 t/ha contre 18,1 t/ha). Il serait, certes, abusif de vouloir tirer d'une expérience unique une règle générale, mais il est d'ores et déjà certain que le labour ne se traduit pas, ipso facto, par une aggravation de l'érosion. Dans un bon nombre de cas c'est le contraire qui doit être vrai: le labour, soit par son action directe, (comme dans l'expérience précitée), soit par son action indirecte sur la plante, en favorisant le développement végétatif et la couverture du sol, soit par les deux actions conjuguées, doit jouer un rôle améliorateur dans la conservation du sol. Des expérimentations ultérieures devraient pouvoir confirmer ce point de vue.

La fâcheuse et tenace réputation du labour, et plus généralement, du travail profond du sol, dans ce domaine tient, semble-t-il, à une confusion qui a longtemps été faite, en zone tropicale, entre profondeur de travail et intensité de travail. Ce dernier facteur, qui conduit à un émiettement susceptible d'aggraver dangereusement l'érosion est à proscrire dans toute la mesure du possible. Mais les deux facteurs sont largement indépendants et la confusion ne doit plus être faite entre les deux.

Il est possible également que, dans le cas où le ruissellement joue par lui-même un rôle actif en tant qu'agent érosif (cas des pentes longues et fortes), les pertes en terre soient plus élevées sur sols labourés. Mais, avec un aménagement rationnel du paysage et une répartition judicieuse des champs dans l'espace, ces cas devraient être l'exception.

6.1.2.1.3 - Rémanence d'action des labours - Rôle des labours d'enfouissement

L'influence du labour sur le sol et les rendements ne se limite pas à l'année même de sa réalisation; les effets résiduels pouvant être très importants et se faire sentir pendant plusieurs années. D'après les études menées au Sénégal (7), la rémanence d'action paraît être sous la dépendance de deux facteurs principaux :

- la nature du labour: les labours avec enfouissement de matière végétale ont une influence plus durable sur la structure du sol et les rendements que les labours ordinaires,
- la succession culturale adoptée: les céréales conservent beaucoup mieux le profil cultural créé par le labour que ne le font d'autres cultures, et, en particulier, l'arachide.

6.1.2.1.4 - Modes de réalisation

Les instruments utilisés, les forces de traction nécessaires, la profondeur de travail, l'humidité du sol, l'époque de travail et l'interaction avec la date de semis, le modelé du terrain, la reprise pour la préparation du lit de semences, sont autant de facteurs qui ont leur importance pour la réussite des labours. A ceux-ci viennent s'ajouter les facteurs propres aux labours d'enfouissement: nature du matériel végétal enfoui, durée de la sole de régénération, quantité de matière végétale enfouie, conditionnement de la plante avant enfouissement.

Parmi tous ces éléments nous en retiendrons deux qui paraissent avoir une importance particulière: l'époque de travail et le modelé du terrain.

Concernant l'époque de travail, on peut souligner le fait qu'il peut y avoir souvent intérêt à reporter la réalisation des labours en fin de saison culturale. Le paysan a, en effet, en début de saison un calendrier très serré, de sorte que la réalisation des labours à ce moment peut amener à retarder la date de semis. Or ceci, comme on le verra, est à proscrire dans toute la mesure du possible. Le report d'une partie des labours en fin de saison permet d'éviter cet écueil.

Ces labours réalisés en "fin de cycle" ne sont possibles que si le cycle végétatif de la plante est inférieur au cycle pluviométrique, pour des raisons d'humidité et de cohésion du sol. Ceci est le cas pour un certain nombre de plantes (arachide, céréales à court cycle) mais non pour les céréales traditionnelles (mils et sorghos tardifs) ni pour le cotonnier. Qu'il y ait ou non enfouissement des résidus de récolte, ces labours donnent sur le sol et sur les rendements des effets très intéressants, parfois supérieurs à ceux des labours de début de saison.

Le modelé du terrain par les labours est un facteur qui prête à controverse. On a longtemps recommandé, pour ces régions, le labour en billons plutôt que le labour à plat. Ceci, d'une part, parce que les semis en culture traditionnelle se font souvent sur billons et, d'autre part, parce que le labour en billons paraissait assurer une meilleure conservation du sol que le labour à plat. Or le semis sur billons en culture traditionnelle s'accompagne de semis tardifs et semble surtout justifié par le souci de mieux maîtriser l'herbe; cet argument disparaît avec le labour réalisé à la charrue et qui, correctement réalisé, assure une bonne maîtrise de l'herbe, qu'il soit fait à plat ou en billons. Par ailleurs, si les billons disposés en courbes de niveaux peuvent efficacement entraver le ruissellement, - surtout dans le cas des billons cloisonnés, - il faut considérer, par contre, que, dans les sols à dominante sableuse il se produit, in situ, entre deux billons, une dégradation du sol importante. Le billon "fond" progressivement sous l'action de la pluie et dans le sillon se développe une structure litée qui, si elle n'est pas détruite par un travail profond du sol se révèle très défavorable à l'enracinement de la culture, et, donc, à sa croissance et à sa production. Les observations de ce genre sont particulièrement nettes dans les pays de vieille culture. En Basse-Casamance, par exemple, la pratique répétée du billonnage peut être tenue pour responsable en grande partie, de l'état de dégradation des sols de cette région.

Enfin la technique du billonnage présente de nombreux inconvénients pratiques en culture motorisée et plus encore en culture attelée: difficultés de réaliser mécaniquement les semis, les travaux d'entretien et la récolte.

En résumé, le labour à plat, convenablement réalisé, nous paraît préférable car il réunit sensiblement les mêmes avantages que ceux classiquement dévolus aux billons: amélioration de l'infiltration, réduction de la dégradation, amélioration de la maîtrise de l'herbe, sans présenter les mêmes inconvénients.

6.1.2.1.5 - Incidences pratiques pour l'exploitation et choix du mode de traction

L'introduction de la culture mécanisée en milieu paysan posera un certain nombre de problèmes pratiques, dont il ne faut pas sous-estimer l'importance. Elle amènera, par ailleurs, un certain bouleversement des structures d'exploitation.

Si l'on choisit la motorisation, cela nécessitera des investissements particulièrement élevés: l'usure du matériel sera grande et son entretien coûteux; des difficultés surgiront par ailleurs en raison du manque généralisé d'infrastructure de réparation et de personnel spécialisé. Enfin il sera sans doute nécessaire, au moins dans un premier stade, d'utiliser le tracteur sous forme coopérative et d'effectuer un regroupement d'exploitations.

En optant pour la culture attelée, la nature des problèmes changera: les investissements seront moins lourds et les frais d'entretien moins élevés, mais les possibilités d'utilisation seront plus restreintes et les diverses contraintes pédoclimatiques pèseront plus lourdement sur la réalisation des travaux du sol. Par ailleurs il conviendra de prévoir les problèmes de logement, de dressage, d'entretien du bétail sur l'exploitation; il faudra tenir compte de la nécessité d'inclure une sole fourragère dans l'assolement. Malgré les difficultés et les coûts de sa fabrication, il serait regrettable de ne pas tirer parti de la présence de bétail sur l'exploitation pour produire du fumier, qui représente la forme de valorisation optimum pour les résidus de récolte, et pratiquement la seule possible pour les pailles des céréales traditionnelles à cycle long.

6.1.2.2 - La précocité des semis

En milieu traditionnel, les semis sont souvent effectués avec un certain retard par rapport à la date de démarrage de la saison des pluies.

Or, la précocité des semis constitue un impératif majeur pour la réussite des cultures. C'est un fait d'observation courante dans la zone étudiée que les retards au semis se traduisent par des chutes de rendements grossièrement proportionnelles à la longueur de ces retards.

Diverses hypothèses ont été avancées pour tenter d'expliquer cette nécessité des semis précoces.

Les plus courantes sont celles qui font appel aux liaisons entre la plante et divers éléments du climat: alimentation hydrique, pluie et floraison, durée d'ensoleillement, photopériodisme, etc.. D'autres font intervenir l'action érosive des pluies de début de saison, action aggravée par un semis retardé, laissant le sol nu. D'autres enfin, - et qui paraissent les plus probantes et les plus généralisables, - mettent l'accent sur les processus biologiques se déroulant dans le sol en début de saison des pluies. BLONDEL (2) a en effet montré que les premières pluies déclenchaient dans le sol un processus de minéralisation de l'azote très rapide et très fugace ("pic" de minéralisation) ainsi qu'une reprise "explosive" de la vie microbienne. La plantule bénéficie ainsi d'excellentes conditions de nutrition azotée et la radicule se développe dans un milieu microbien favorable. Ces conditions fugaces ne se retrouvent pas par la suite: le taux d'azote minéral et les sources carbonées nécessaires à l'activité des micro-organismes diminuent rapidement; l'activité biologique globale devient faible et l'équilibre microbien deviendrait moins favorable à la plantule (augmentation relative des saprophytes). C'est sans doute principalement pour ces dernières raisons que, très généralement, la croissance des plantes semées dès les premières pluies est plus rapide que celle des plantes à semis retardé; dans les cas extrêmes on peut même

observer un blocage presque complet de la croissance peu après la levée, et ceci en présence de fumures minérales convenables.

L'influence de la précocité des semis sur le développement de l'érosion a été étudiée en Casamance pendant plusieurs années (4). On opposait, en culture motorisée, deux systèmes cultureux caractérisés :

- l'un par des préparations du sol superficielles et des semis légèrement retardés (2 à 3 semaines),
- l'autre, par des préparations profondes (labours) et des semis précoces.

Les résultats montrent que l'adoption du deuxième système culturel entraîne une diminution sensible du ruissellement et de l'érosion: respectivement 35 % et 63 % en moyenne sur trois ans. Ceci traduit une nette amélioration dans l'adaptation des techniques culturelles au milieu pédo-climatique. Les rendements augmentent en conséquence, dans des proportions allant de 10 à 70 % (4).

6.1.3.- La fertilisation -

6.1.3.1.- Les objectifs poursuivis en culture intensive.

Dans l'amélioration des systèmes cultureux traditionnels, on visait surtout, avec de faibles doses de fumure minérale, à accroître les rendements de façon à obtenir le maximum de profits immédiats, pour une dépense d'investissement minimum. Cette procédure se justifie parfaitement pour familiariser les paysans avec l'utilisation d'engrais et amorcer la rénovation des systèmes cultureux.

Toutefois, nous avons vu que, sur le plan agronomique, les faibles doses d'engrais utilisées se révélaient notoirement insuffisantes pour satisfaire convenablement aux exigences des cultures. On ne peut donc espérer par cette méthode approcher du potentiel de production des cultures et obtenir régulièrement des rendements élevés pendant une période indéfinie. Ce dernier objectif est, par contre, celui qui est assigné à la culture fixée et intensive; la fumure minérale est, sans doute, le plus efficace et le plus puissant des moyens d'intervention permettant d'atteindre cet objectif. Dans son utilisation, il conviendra de ne pas être trop obnubilé par la recherche du profit et de la rentabilité à court terme, mais au contraire de toujours raisonner en termes de rentabilité sur une période assez longue: c'est une des conditions impératives pour passer d'une agriculture extensive à un système de production intensif.

6.1.3.2. - Méthodes et moyens -

La mise au point d'un programme de fertilisation adapté à un système de culture intensif passera par les étapes suivantes :

- Détection et classement des carences minérales du sol,
- Détermination des fumures de correction ou de redressement permettant de corriger ces carences et d'atteindre le potentiel de production;
- Détermination des fumures d'entretien permettant de compenser les exportations par les plantes et les pertes par drainage et volatilisation, de façon à maintenir intacte la richesse chimique du sol.

La première phase peut faire appel à diverses méthodes, mais l'une des plus commodes et rapides est la méthode "soustractive" utilisée en vase de végétation avec, comme plante test, une plantule de graminées.

La détermination des fumures de redressement doit, par contre, se faire en plein champ, en utilisant, de préférence la méthode simple des courbes de réponses.

Pour la zone étudiée, les carences les plus habituelles sont celles du Phosphore et de la Potasse. Les sols sont également très pauvres en azote et soufre, mais le relèvement du niveau de ces éléments dans le sol ne peut se faire que progressivement, par l'intermédiaire de la matière organique..

Pour le phosphore, la correction de la carence peut se faire économiquement en utilisant les phosphates tricalciques dont plusieurs gisements existent en Afrique de l'Ouest. Des doses allant de 500 à 1 500 kg/ha, suivant la gravité de la carence et la nature des sols, sont généralement suffisantes.

Pour la potasse, le problème est différent : les capacités d'échange étant habituellement faibles à très faibles, les taux de potasse échangeable ne seront jamais très élevés et, dans les meilleurs cas, ne dépasseront guère 0,15 à 0,20 mé/100 g. Dans ces conditions les fumures de redressement ne mettent en oeuvre que des quantités relativement limitées de potasse : de l'ordre de 50 à 200 kg/ha de K_2O , suivant les cas.

Par ailleurs, la potasse est soumise à un certain lessivage de l'ordre de 20 kg/ha de K_2O par an. Pour ces raisons, à une fumure de redressement initiale, on pourra préférer une correction progressive en calculant assez largement les fumures d'entretien potassiques pour les différentes cultures.

Dans les fumures de redressement, on pourra inclure les amendements calciques. S'il est exceptionnel, en effet, que la pauvreté des sols en calcium échangeable ait des répercussions directes sur la nutrition calcique des plantes, il est fréquent qu'elle joue un rôle indirect sur la physiologie des plantes, par l'intermédiaire de l'acidité du sol. L'abaissement du pH en-dessous de certain seuil, dans les sols à dominante sableuse, entraîne, comme on a pu le constater au SENEGAL, des perturbations graves dans la nutrition azotée des plantes, qu'il s'agisse d'arachide (destruction des Rhizobium) ou de céréales. Si le pH du sol initial est trop bas, il conviendra donc de l'amener à un niveau convenable (6,0 à 6,5) par apport d'amendements calciques. En principe, dans ces sols à texture grossière, un apport de 1 à 2 t/ha de CaO est suffisant pour corriger le pH d'une unité.

Les formes d'amendements les plus intéressantes et les plus actives sont la chaux agricole et le calcaire broyé, qui sont malheureusement rarement produits sur place. Les sels neutres et peu solubles, tels que le phosphate tricalcique, ne peuvent, malgré leur teneur élevée en chaux (50 %), être regardés comme des amendements efficaces.

Sur le plan économique, il ne faudra pas rechercher la rentabilité immédiate des fumures de recressement, mais calculer, au contraire, leur amortissement sur une période assez longue. En fait, les dépenses d'investissement représentées par les fumures de redressement ne seront pas très élevées. Il suffira pour la plupart des sols, de corriger la carence phosphatée initiale par un "phosphate de fond" de 1 t/ha de phosphate tricalcique, soit une dépense de l'ordre de 5 à 10 000 F./ha. Ce qui est dérisoire par rapport à d'autres dépenses d'investissement agricole (irrigation par exemple). Le problème des amendements calciques est, par contre, plus sérieux, mais cependant soluble. On ne peut envisager d'importer des quantités massives de chaux, ce qui serait beaucoup trop onéreux ; mais des mesures pourraient être prises pour produire cette chaux sur place, partout où existent des gisements de marnes et de calcaire (ce qui n'est pas rare).

La troisième phase, correspondant à la détermination des fumures d'entretien, est la plus longue et la plus difficile. Il faut en effet, non seulement déterminer les courbes d'exportations par les plantes et les pertes par drainage et volatilisation, en fonction des doses d'engrais apportées, mais aussi distinguer entre besoins réels et consommation de luxe (surtout pour la potasse), préciser les formes d'engrais les plus intéressantes et les époques d'application les plus adéquates. Ce dernier point est particulièrement vrai pour l'azote.

Diverses méthodes doivent concourir pour atteindre ce but : analyses des sols et des plantes ; essais au champ, en vases de végétation et en cases lysimétriques.

Les résultats obtenus en Afrique de l'Ouest font ressortir l'importance des doses d'engrais à utiliser si l'on veut à la fois atteindre des niveaux de rendements élevés et maintenir la fertilité chimique du sol.

En CASAMANCE, par exemple, pour une rotation quinquennale comportant : jachère enfouie, maïs, riz pluvial, arachide, mil, on a calculé que pour des niveaux de production élevés (3 à 5 t/ha de grains ou gousses), il fallait prévoir d'apporter en moyenne annuelle :

90 kg/ha d'azote
30 kg/ha de P_2O_5
76 kg/ha de K_2O
170 kg/ha de CaO

ce qui représente des doses d'engrais d'au moins 500 à 600 kg/ha. Ce sont des doses couramment utilisées et même dépassées, en agriculture de pays tempérés, pour des niveaux de rendements encore supérieurs. Ces doses surprennent pour l'Afrique, où elle représentent environ 4 à 5 fois ce qui est actuellement recommandé en vulgarisation. Il faut cependant obligatoirement en passer par là si l'on veut réellement révolutionner l'Agriculture et abandonner les systèmes extensifs au profit de systèmes fixés et intensifs.

Le problème posé ne l'est pas tellement en termes techniques qu'en termes économiques. Le rapport, gain de récolte/coût de l'engrais, est actuellement très défavorable en Afrique de l'Ouest (bien que cette affirmation doive être nuancée suivant les pays et les cultures). Le problème économique semble donc insoluble. Cependant, il devait se poser à peu près dans les mêmes termes en Asie, il y a une vingtaine d'années, et il semble bien qu'il y ait été résolu depuis.

Etant donné le coût élevé des engrais en Afrique de l'Ouest, des précautions toutes spéciales devront être prises pour veiller à ce que les résidus de récolte soient intégralement restitués au sol et qu'il n'y ait pas de gaspillage : préférer aux brûlis générateurs de pertes d'azote et de soufre, les enfouissements de paille ; veiller à ce que les pailles servant à la nourriture et à la litière des animaux reviennent au champ sous forme de fumier. On peut, si ces précautions sont respectées, espérer réduire sensiblement les apports, en particulier potassiques.

6.1.4.- Les successions culturales -

Deux questions se posent à ce sujet :

- l'intérêt d'inclure, dans la rotation, une sole de "repos" ou de "régénération" du sol.
- le choix des cultures entrant dans la rotation et les règles de successions .

6.1.4.1. - Intérêt de la sole de régénération culture intensive.

On a longtemps préconisé, en culture mécanisée, l'insertion dans la rotation, d'une sole d'engrais vert, ou de jachère enfouie, faisant le pendant de la jachère non travaillée des systèmes traditionnels améliorés. Ceci était motivé par diverses considérations :

- désir d'effectuer un travail profond du sol au moins une fois dans la rotation sans contraintes trop serrées de calendrier.
- souci d'améliorer la structure du sol et son niveau humique.

Le premier motif reste valable pour les zones semi-arides à saison des pluies très brèves, car il est difficile, dans ces conditions, de réaliser un labour de préparation sans avoir à retarder exagérément le semis : le labour d'enfouissement de la jachère ou de l'engrais vert représente bien alors la seule possibilité de travailler le sol au cours de la rotation. Cette raison ne joue pas pour les zones où la durée de la saison des pluies utiles dépasse 3 à 4 mois.

Concernant l'amélioration de la structure du sol, on a vu que l'action essentielle était celle du labour proprement dit. Le supplément d'action procuré par la matière verte enfouie (jouant surtout sur la durée de conservation de la structure) peut-être procuré par l'enfouissement de pailles et, mieux encore, de fumier.

Quant au relèvement du niveau humique du sol, il ne semble pas que l'enfouissement de graminées jeunes puisse, dans ce domaine, conduire à des résultats appréciables . L'étude des légumineuses-engrais vert, envisagée comme source gratuite d'azote, gagnerait par contre à être reprise.

Au total, à l'exception des zones semi-arides, il n'apparaît pas qu'il soit indispensable, en culture mécanisée intensive, de sacrifier une sole de la rotation pour une jachère ou un engrais vert enfoui .

Il faut souligner toutefois que cette sole de régénération peut fort bien se transformer en sole fourragère. Les objectifs de la production fourragère et de l'amélioration du sol peuvent fort bien se combiner entre eux, comme c'est le cas en pays tempérés, pour les prairies temporaires, retournées en fin de cycle. C'est, croyons-nous, surtout sous cet aspect qu'il faut désormais envisager l'évolution de cette sole de régénération.

6.1.4.2.- Choix des cultures entrant dans la rotation et règles de succession.

En culture intensive, la gamme des cultures possibles sera plus grande qu'un système traditionnel et les combinaisons entre elles plus nombreuses. Le choix d'une rotation ne sera pas sans influencer sur l'évolution du sol et celle des rendements. Toutefois, les principes agronomiques permettant de guider ce choix sont encore assez flous. On a pu constater, par exemple, que l'alternance légumineuses-céréales donnait généralement de bons résultats, que, par contre, la monoculture de l'arachide et le retour trop fréquent du sorgho sur le même terrain (à dominante sableuse) était à éviter. Mais on n'a pas, jusqu'à présent, fourni d'explications réellement probantes pour ces phénomènes. Diverses hypothèses ont été avancées, qu'il conviendra de confirmer. En attendant, ce seront surtout les considérations économiques et quelques règles empiriques qui guideront l'agronome dans le choix de la succession culturale.

6.1.5. - Les autres composantes techniques -

Nous ne ferons que mentionner ici les autres composantes techniques des systèmes culturaux intensifs : principalement amélioration variétale et défenses des cultures. Ces facteurs, pour importants qu'ils soient, n'ont pas en effet, une influence directe sur l'évolution du sol, sujet premier de nos préoccupations. Il faut cependant noter l'importance de leurs effets indirects : croissance végétale améliorée protégeant plus efficacement le sol contre l'érosion, meilleure valorisation des engrais, facilité d'enfouissement des pailles par le raccourcissement des cycles, etc ... et souligner, une fois de plus, la nécessité de mener de front l'ensemble des améliorations techniques, en raison des nombreuses interactions qui existent entre elles.

6.2. - Les résultats à en attendre :

Sur le plan agronomique, l'adoption de cet ensemble de mesures doit se traduire non seulement par la suppression ou la diminution des surfaces improductives, l'augmentation très

notable des rendements, la conservation du capital-sol, mais aussi par l'introduction de nouvelles spéculations végétales ou animales. Ce dernier point, pour être moins connu, est cependant important. Au Sénégal, par exemple, les cultures de plantes assez exigeantes, telles que le maïs, le riz pluvial et, dans une moindre mesure, le cotonnier, étaient vouées à l'échec dans les systèmes de culture traditionnels ; elles ont été rendues possibles et ont donné de bons résultats avec les méthodes de la culture intensive. La production de viande ou de lait pourra devenir une spéculation intéressante quand la nourriture du bétail sera convenablement assurée par des céréales à grands rendements.

Une autre conséquence de la culture intensive sera d'atténuer les productions interannuelles de la production, l'amélioration du sol permettant de "tamponner" les aléas climatiques.

Il reste maintenant à voir les exemples pouvant illustrer ces propos.

On peut évoquer un certain nombre de résultats d'essais de longue durée, au SENEGAL et dans d'autres pays d'Afrique de l'Ouest, montrant qu'en adoptant les méthodes de la culture intensive et, en particulier, en combinant judicieusement travail du sol, fumures minérales et restitutions organiques, la culture continue est possible et les rendements se maintiennent à des niveaux élevés.

Plus probants, cependant, à cet égard, nous paraissent être les enseignements tirés de l'expérience des grandes exploitations mécanisées de BOULEL et SEFA au SENEGAL .

La mise en culture a débuté dans les années 1950, après défrichement de forêt claires ; les défriches portaient sur des superficies d'environ 5 000 et 10 000 ha. La mise au point de la culture mécanisée, motorisée à SEFA et attelée à BOULEL, s'est révélée difficile. Les obstacles et les erreurs techniques (sans parler des économiques) n'ont pas manqué . L'évolution des sols a revêtu à SEFA, au départ, un aspect catastrophique, avec, notamment, un développement de l'érosion d'une ampleur inattendue. Malgré cela, au fil des ans, les techniques se sont améliorées ; l'évolution des sols, sans être satisfaisante, ne présente plus l'aspect alarmant qu'elle avait au départ ; un système de culture fixée, semi-intensive a été élaboré. Ce système ne saurait au stade actuel, être érigé en modèle ; il prouve cependant, après vingt ans d'existence , que la culture continue et fixée est possible, et qu'elle donne des résultats agronomiquement au moins aussi intéressants que la culture semi-itinérante qui est de règle dans ces régions.

Mais les observations les plus intéressantes peuvent être faites à la Station de Recherches Agronomiques de SEFA. Cette Station, située au coeur du domaine, a eu une histoire culturelle sensiblement identique à celle de l'exploitation jusque vers 1960. A partir de cette date, des techniques de culture intensive ont été appliquées sur les terrains de la Station. Les effets n'ont pas tardé à se faire sentir ; les propriétés des sols ont été améliorées ; les rendements atteignent :

- 5 tonnes à l'hectare pour le maïs
- 4 tonnes à l'hectare pour riz (paddy)
- 3 tonnes à l'hectare pour l'arachide (gousses)
- 3 tonnes à l'hectare pour le mil (grain)

Ce sont là des niveaux de production qu'on était loin d'atteindre , ni même d'espérer vers les années 1950. Ils prouvent que l'évolution des sols peut ne pas présenter **inéluctablement** un caractère catastrophique pour l'agriculture, mais être au contraire, infléchie dans un sens favorable, et que l'agriculture fixée et intensive est parfaitement possible dans ces régions

C O N C L U S I O N

- - - - -

Au terme de cette revue d'ensemble des problèmes posés par le passage de l'agriculture semi-itinérante à une agriculture fixée et intensive en zone tropicale sèche Ouest-Africaine, il apparaît qu'aucun obstacle d'ordre agronomique ne s'oppose à cette transformation. Malgré certains facteurs défavorables, la pauvreté de l'agriculture dans la zone étudiée ne revêt pas un caractère inéluctable. Des mesures peuvent être prises pour transformer radicalement cette agriculture, mesures qui sont en grande partie connues.

Mais, si sur le plan technique, les obstacles sont loin d'être insurmontables, sur les plans économiques et humains ils paraissent au contraire importants. C'est finalement avant tout dans ces domaines que des efforts devront être faits pour amorcer en Afrique de l'Ouest la nécessaire "Révolution Verte".

B I B L I O G R A P H I E

- (1) AUBREVILLE A., 1949
Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale
Soc. d'Ed. Géograph., Mar. et Col., Paris.
- (2) BLONDEL D., 1966
Premiers éléments sur la dynamique de l'azote dans deux
sols du Sénégal.
IRAT/Sénégal, doc. mimeo, 51 p.
- (3) BONFILS P., CHARREAU C., MARA M., 1962
Etudes lysimétriques au Sénégal
Agro Trop., XVII, 10, 881-914.
- (4) CHARREAU C., 1969
Influence des techniques culturales sur le développement
du ruissellement et de l'érosion en Casamance.
L'Agr. Trop., XXIV, 9, 836-842.
- (5) CHARREAU C., CHAUVEL A., 1969
Compte rendu d'expérimentation sur cases lysimétriques
en 1969.
IRAT/Sénégal, doc. mimeo, 14 p.
- (6) CHARREAU C., FAUCK R., 1970
Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de la
région de Séfa (Casamance).
- (7) CHARREAU C., NICQU R., 1970
L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et
sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-Africaine
et ses incidences agronomiques (d'après les travaux des chercheurs
de l'IRAT en Afrique de l'Ouest).
I.R.A.T. SENEGAL, doc. mimeo, 4 tomes, 339 p.
- (8) CHARREAU C., SEGUY L., 1969
C Mesure de l'érosion et du ruissellement à Séfa en 1969
L'Agr. Trop. XXIV, 11, 1055-1097.
- (9) CHARREAU C., VIDAL P., 1965
Influence de l'Acacia Albida Del. sur le sol, la nutrition
minérale et les rendements des mils pennisetum au Sénégal.
L'Agr. Trop. XX, 6-7, 600-625.

- (10) COCHEME J., FRANQUIN P. 1967
Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au Sud du Sahara en Afrique Occidentale.
Projet conjoint d'Agroclimatologie FAO/UNESCO/OMM ;
F.A.O. ROME .
- (11) COINTEPAS J.P., 1958
Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises à la station expérimentale de SEFA.
O.R.S.T.O.M. DAKAR . Rapp. miméo, 110 p.
- (12) D'HOORE J.L. , 1964
La carte des sols d'Afrique au 1/5 000 000e
Commission de Coopération Technique en Afrique, LAGOS.
- (13) DOMMERGUES Y., 1963
Les cycles biogéochimiques des éléments minéraux dans les formations tropicales.
Bois et Forêts des Tropiques, 87, 9-25.
- (14) FOURNIER F., 1960
Climat et **érosion**
Thèse Doct. es lettres, PARIS; P.U.F. , PARIS .
- (15) HENIN S., GRAS R., MONNIER G. 1969
Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques.
MASSON & Cie , 2ème éd. - PARIS .
- (16) IRHO, 1968
Synthèse des résultats sur arachide du SENEGAL.
IRHO, fiche n° 10 , doc. mult. 2 p.
- (17) JUNG G., 1966
Etude de l'influence de l'Acacia Albida Del. sur les processus microbiologiques dans le sol et sur leurs variations saisonnières.
ORSTOM-DAKAR, doc. miméo, 49 p.
- (18) LAUDELOUT H., 1962
Dynamique des sols tropicaux et les différents systèmes de jachères.
F.A.O. rapp. mult. 125 p. ROME

(19) NYE R.H., GREENLAND D.J. , 1960

The soil under shifting cultivation
Tech. Com. n° 51 , COMMONWEALTH BUREAU OF SOILS,
HARPENDEN, ENGLAND .

(20) SIBAND P. 1970

Communication verbale.

(21) WISCHMEIER W.H., 1969

A rainfall erosion index for a universal soil loss
equation.
Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 23, 246, 49.

R E S U M E

Les caractéristiques pédoclimatiques de la zone tropicale sèche Ouest Africaine présentent, du point de vue agricole des aspects nettement défavorables.

La végétation peut avoir, sur l'évolution du sol une influence bénéfique lorsqu'elle est de type forestier. L'influence de la jachère courte, de type herbacé, sur les propriétés du sol, se distingue par contre très peu de celles des cultures annuelles.

Les systèmes cultureux traditionnels, sont rapidement décrits et leurs principales caractéristiques analysées. Des améliorations sont possibles à l'intérieur de ces systèmes, mais elles n'ont qu'une portée limitée ; elles ne peuvent empêcher à moyen et long terme, la diminution du capital de fertilité du sol et la chute des rendements.

Il est procédé ensuite à l'étude des systèmes cultureux intensifs.

Une attention particulière est portée aux points suivants :

- Défrichement et répartition des champs dans l'espace.
- Techniques culturales : surtout labours et précocité des semis.
- Fertilisation .
- Successions culturales.

Des résultats obtenus après adoption de ces méthodes sont cités.

En conclusion, il est souligné que dans la zone sèche Ouest Africaine, malgré certains facteurs défavorables, il n'existe pas d'obstacles techniques insurmontables pour passer d'une agriculture semi-itinérante et pauvre à une agriculture fixée, intensive, à hauts rendements

Les difficultés sont, par contre, grandes sur les plans économique et social.