

GESTION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES DES PLANTES

TOME 1 : Monographies

J. PERNES



**GESTION DES
RESSOURCES GÉNÉTIQUES
DES PLANTES**

Tome I

AGENCE DE COOPERATION CULTURELLE ET TECHNIQUE

L'Agence de Coopération Culturelle et Technique, organisation intergouvernementale, créée par le Traité de Niamey en mars 1970, rassemble des pays liés par l'usage commun de la langue française, à des fins de coopération dans les domaines de l'éducation, de la culture, des sciences et de la technologie, et plus généralement, dans tout ce qui concourt au développement de ses Etats membres et au rapprochement des peuples.

Les activités de l'Agence dans les domaines de la coopération scientifique et technique et du développement se groupent en quatre programmes prioritaires aux objectifs complémentaires :

- Développement du potentiel scientifique et technique ;
- Inventaire et valorisation des ressources naturelles ;
- Transformation et exploitation des ressources naturelles ;
- Autosuffisance des communautés humaines.

Toutes les actions menées dans le cadre des quatre programmes sont complémentaires et ont pour finalité le développement du monde rural. Celles résultant des deux premiers se situent en amont et tendent à renforcer les structures de la recherche appliquée et à favoriser la concertation et le transfert des données scientifiques et des technologies dans des domaines précis prioritaires pour le développement.

Les actions du troisième programme se placent à un niveau intermédiaire et œuvrent pour l'implantation d'un tissu industriel intégré au milieu rural : petites et moyennes entreprises disséminées dans ce milieu, valorisant la production de la terre et de la mer et procurant du travail à une population en rapide croissance. Le dernier programme, enfin, se situe en aval de l'action : il associe les populations elles-mêmes à l'amélioration globale de leur condition par une formation intimement liée à l'action, s'adressant particulièrement aux jeunes et concernant des domaines aussi vitaux pour les ruraux que leur habitat, leur santé et leur éducation.

PAYS MEMBRES

Belgique, Bénin, Burundi, Canada, République Centrafricaine, Comores, Congo, Côte d'Ivoire, Djibouti, Dominique, France, Gabon, Guinée, Haïti, Haute Volta, Liban, Luxembourg, Mali, Ile Maurice, Monaco, Niger, Rwanda, Sénégal, Seychelles, Tchad, Togo, Tunisie, Vanuatu, Viet-Nam, Zaïre.

ETATS ASSOCIES

Cameroun, Egypte, Guinée-Bissau, Laos, Maroc, Mauritanie, Sainte-Lucie.

GOUVERNEMENTS PARTICIPANTS

Nouveau-Brunswick, Québec.

GESTION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES DES PLANTES

TOME 1 : Monographies

J. PERNES

avec la collaboration de:

J. BERTHAUD, G. BEZANÇON, A. CHARRIER,
D. COMBES, J.M. LEBLANC, M. LOURD,
Y. SAVIDAN, G. SECOND

diffuseur :

Technique & Documentation- LAVOISIER

11, rue Lavoisier 75384 PARIS cedex 08



Dans la même série :

- Les céréales mineures. Bibliographie analytique. S. BAUDET.
- L'agriculture au Cambodge. L. TICHIT.
- L'agriculture fruitière et maraîchère traditionnelle en république de Djibouti. J.P. AMAT et al.
- Guide à l'intention des bibliothécaires agricoles. O. LENDVAY.
- L'amélioration des systèmes post récolte en Afrique de l'ouest.
- Abrégé agro-pastoral rwanda. S. DESOUTER.
- Gestion des ressources génétiques des plantes. Tome I: monographies. J. PERNES et al.

Les opinions exprimées ainsi que les orthographes de noms propres et les limites territoriales figurant dans le présent document n'engagent que les auteurs et nullement la position officielle et la responsabilité de l'Agence de Coopération Culturelle et Technique.

© 1984 Agence de Coopération Culturelle et Technique. Paris

ISBN: 92-9028-044-3

SOMMAIRE DU TOME I

PANICUM MAXIMUM

Savidan Y., Combes D. et Pernès J.

I. INTRODUCTION	7
II. PROSPECTIONS	8
A. Préparation	8
B. Réalisation	9
C. Echantillonnage	14
III. COLLECTIONS	15
A. Réussite à l'implantation	15
B. Perte de matériel sur dix ans	16
C. Conservation des graines et problèmes de germination	16
IV. EVALUATION	17
A. Description de la diversité-Elaboration des classifications	17
B. Organisation des populations	24
C. Cytogénétique	29
D. Les modes de reproduction	33
E. Organisation et évolution du complexe	35
V. UTILISATION	37
A. Schéma de sélection et de création du matériel	37
B. Clones vulgarisables directement à partir des collections	39
C. Essais agronomiques	39
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	40

LES CAFEIERS

Berthaud J., Charrier A.,
Guillaumet J.L. et Lourd M.

I. INTRODUCTION	45
A. Données botaniques sur les caféiers (<i>Coffea</i> et genres affines)	45
B. Le complexe multispécifique des caféiers	51
C. La mise en culture des caféiers	52
D. Le travail de sélection	54
II. LES PROSPECTIONS	58
A. L'organisation des prospections	58
B. Réalisation pratique des prospections	60
C. Un exemple de prospection des caféiers spontanés (<i>Kenya</i>)	68
D. Bilan des prospections	72

III. LES COLLECTIONS	73
A. La mise en place des collections	73
B. Les collections d'étude	74
C. Gestion et échanges des collections	75
IV. L'EVALUATION DU MATERIEL VEGETAL	76
A. Etude de la variabilité générale	76
B. Etude de certaines caractéristiques	91
V. CONCLUSION	98
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	101

LES RIZ

Bezançon G. et Second G.

I. INTRODUCTION	107
II. LES GENRES <i>ORYZA</i> ET LE COMPLEXE <i>SATIVA</i> DANS LE MONDE	110
III. LES ESPECES DU COMPLEXE <i>SATIVA</i> EN AFRIQUE ET A MADAGASCAR	112
A. <i>Oryza longistaminata</i> A. Chev. et Roehr	112
B. <i>Oryza breviligulata</i> A. Chev. et Roehr	114
C. Les autres espèces sauvages	115
D. Les hybridations naturelles entre les différentes espèces sauvages et cultivées du génome A en Afrique	115
IV. LES ESPECES CULTIVEES ET LA RIZICULTURE EN AFRIQUE	117
V. LES PROSPECTIONS	122
A. Préparation et établissement d'un projet	122
B. Financement et planification des collectes au niveau international	123
C. Réalisation pratique des prospections	125
D. Evolution des prospections	132
E. Rapport de mission et exemple de fiches accompagnant les échantillons	133
VI. EVALUATION DE LA VARIABILITE GENETIQUE, DES BARRIERES REPRODUCTIVES ET DES RELATIONS PHYLOGENETIQUES ENTRE LES DIVERSES ESPECES DE RIZ (GROUPE <i>SATIVA</i> GENOME AA)	135
A. Les relations phylogénétiques et la variabilité génétique des espèces	136
B. Etude des barrières reproductives	148
C. Conclusion	151

ANNEXE	154
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	155

LE MIL

Pernès J., Combes D. et Leblanc J.M.

I. INTRODUCTION	159
II. ORIGINE ET DOMESTICATION DU MIL	169
III. PROSPECTIONS	170
A. Les méthodes de prospection	170
B. Les cultivars récoltés	174
IV. CONSERVATION DES ECHANTILLONS	178
V. EVALUATION	179
A. Un exemple de pertes alléliques dans les collections du mil: le système des alcools déshydrogénases (ADH)	179
B. Quelques données sur les échanges géniques entre les formes spontanées et cultivées	186
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	196
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE	199
INDEX DES TERMES SCIENTIFIQUES	202
INDEX DES VEGETAUX	210

RAPPEL DU SOMMAIRE DU TOME II

I — ORGANISATION DES COMPLEXES D'ESPÈCES

J. Pernès et M. Loura

I. INTRODUCTION

II. COMPLEXES D'ESPÈCES: COMPARTIMENTS ET CONTRÔLE DES FLUX DE GÈNES ENTRE COMPARTIMENTS

- A. Définition des complexes d'espèces
- B. Compartiments des complexes d'espèces
- C. Contrôles des flux de gènes entre compartiments d'un complexe d'espèces

III. DIVERS ASPECTS DE LA SPÉCIATION, FRAGMENTATIONS PROGRESSIVES

IV. MESURE ET SIGNIFICATION DES DISTANCES GENETIQUES — ANALYSE DES STRUCTURES DE COMPLEXES D'ESPÈCES

- A. Polymorphisme
- B. Distance génétique
- C. Déséquilibre gamétique

V. DYNAMIQUE DES ADAPTATIONS

- A. Changements dus à des sélections constantes dans une population infinie considérée pour un seul locus
- B. Transformations dans les collections multipliées sexuellement
- C. Conclusions

VI. ORGANISATION GÉOGRAPHIQUE DES COMPLEXES D'ESPÈCES ET QUELQUES CONSÉQUENCES

- A. Domestication des plantes et agriculture
- B. Les centres d'origine
- C. Le couplage des formes sauvages et des formes cultivées
- D. Conservation — réserves

VII. CENTRES D'ORIGINE COMME CENTRES DE DIVERSITÉ DES PARASITES

- A. Les ressources génétiques naturelles et la résistance aux maladies
- B. Les interactions génétiques hôte-pathogène

II — STRATEGIES DE PROSPECTION

J.L. Guillaumet et J. Pernès

I. ORGANISATION DE LA PROSPECTION

- A. Buts d'une prospection
- B. Préparation de la prospection
- C. Déroulement sur le terrain

II. METHODOLOGIE D'ECHANTILLONNAGE

- A. Objectifs de la collecte des ressources génétiques

B. Données a priori pour la réalisation de l'échantillonnage

III — ÉVALUATION

M. Lourd, J. Pernès, Y. Savidan, G. Second

I. INTRODUCTION

II. ÉVALUATIONS DIRECTES EN COLLECTIONS ET TRAITEMENT DE CES OBSERVATIONS

- A. Observations, acquisitions des données
- B. Traitement des données

III. ÉVALUATION GÉNÉTIQUE

- A. Les méthodes de la génétique quantitative
- B. Autres méthodes classiques d'évaluation génétique
- C. Evaluation par les méthodes de la biologie moléculaire

IV. — LA CONSERVATION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES

A. Charrier, M. Lourd et J. Pernès

I. INTRODUCTION

II. LES DIFFÉRENTES STRATÉGIES DE CONSERVATION

- A. La mise en réserve des écosystèmes
- B. Les collections de plantes vivantes

III. MOYENS DE CONSERVATION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES

- A. Stockage de longue durée des graines
- B. Stockage de longue durée du pollen
- C. Les techniques classiques de la multiplication végétative
- D. La multiplication végétative in vitro comme technique de conservation des ressources génétiques
- E. Les transferts de ressources génétiques et la mise en quarantaine

V — LES BASES DE DONNÉES ET LEUR EXPLOITATION STATISTIQUE

E. Nguyen Van et J. Pernès

I. PRINCIPES

- A. L'importance des effectifs
- B. Utilisation des données
- C. Les utilisateurs des données

II. LES LISTES DE DESCRIPTEURS

- A. Caractérisation, numérotation de l'échantillon
- B. Informations acquises lors des collectes
- C. Informations génétiques bases d'élaboration de taxonomies, observations qualitatives à hérédité bien précisée, caractérisations morphologiques très répétables

dans des milieux variés

D. Informations de l'évaluation agronomique

III. GESTION INFORMATIQUE DES DONNÉES

A. Données de base

B. Problèmes à résoudre pour installer une banque de données en ressources génétiques

C. Etude de certains systèmes

IV. ORGANISATION TAXONOMIQUE DU COMPLEXE ÉTUDIÉ

A. Les grands ensembles établis par l'étude génétique qualitative

B. Recherche de classifications plus fines construites sur des données génétiques ponctuelles

C. Illustration des méthodes d'analyse des données et de taxonomie numérique

Annexe

VI — CENTRES DE RESSOURCES GÉNÉTIQUES ET FORMATION DES PERSONNELS DE GESTION

J. Pernès

I. INTRODUCTION

II. ORGANISATION MONDIALE DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES ET LES PRINCIPAUX CENTRES DE CONSERVATION

A. Historique et vocation

B. Recommandations de la Conférence technique (Rome 1981)

C. Organisation

III. SCHÉMAS D'ORGANISATION DE CENTRES DE RESSOURCES GÉNÉTIQUES

A. Organisation centrale

B. Organisations en réseau

IV. GRANDS ÉLÉMENTS D'ORGANISATION ET VOCATIONS DES CENTRES DE RESSOURCES GÉNÉTIQUES

V. FORMATION ET ENSEIGNEMENT

A. Initiation aux aspects théoriques et pratiques de futurs responsables

B. Enseignement technique

C. Enseignement universitaire et de recherche de niveau supérieur

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

INDEX DES TERMES SCIENTIFIQUES

INDEX DES VÉGÉTAUX

LISTE DES SIGLES

ADRAO: Association pour le développement de la riziculture de l'Afrique de l'Ouest.

ATP: Adenosine triphosphate.

CNRS: Centre National de la Recherche Scientifique.

FAO: Food and Agriculture Organisation of the United Nations.

GERDAT: Groupement d'Etudes et de Recherches pour le Développement Agronomique Tropical.

IBPGR: International Board for Plant Genetic resources. (CIRP).

ICRISAT: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

IFCC: Institut Français du Café et du Cacao.

IITA: International Institut or Tropical Agriculture.

IRAT: Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières.

IRRI: International Rice Research Institute.

ORSTOM: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.

USDA Fort Collins: United States Departement of Agriculture.

LISTE DES AUTEURS

BERTHAUD Julien, ORSTOM, Laboratoire de Génétique, Centre d'Adiopodoumé, B.P. V 51, Abidjan, République de Côte d'Ivoire.

BEZANCON Gilles, ORSTOM, Laboratoire de Génétique, Centre d'Adiopodoumé, B.P. V 51, Abidjan, République de Côte d'Ivoire.

CHARRIER André, ORSTOM, Laboratoire de Génétique, Centre d'Adiopodoumé, B.P. V 51, Abidjan, République de Côte d'Ivoire.

COMBES Daniel, Laboratoire de Génétique et Physiologie du Développement des Plantes, C.N.R.S., 91190 Gif-sur-Yvette, France.

GUILLAUMET Jean-Louis, ORSTOM, 24 rue Bayard, 75008 Paris, France.

LEBLANC Jean-Marc, ORSTOM, 24 rue Bayard, 75008 Paris, France.

LOURD Maurice, ORSTOM, 24 rue Bayard, 75008 Paris, France.

PERNES Jean, Laboratoire de Génétique et Physiologie du Développement des Plantes, C.N.R.S., 91190 Gif-sur-Yvette, France.

SAVIDAN Yves, ORSTOM, 24 rue Bayard, 75008 Paris, France.

SECOND Gérard, ORSTOM, 70-74 route d'Aulnav, 93140 Bondy, France.

AVANT-PROPOS

Alors que les progrès de la recherche agronomique de la dernière décennie avaient permis d'espérer une amélioration progressive de la situation alimentaire des populations du tiers-monde, on est bien obligé aujourd'hui de constater que, loin de s'améliorer, la situation s'est, en fait, souvent encore dégradée.

Cette évolution a des raisons multiples. Au premier plan de celles-ci se place, bien sûr, l'expansion démographique, plus rapide que l'amélioration des rendements des cultures. Par ailleurs, la disparition chaque année de considérables surfaces de terres de culture suite à l'érosion, à la salinisation ou à l'urbanisation, d'une part, et la persistance d'un taux élevé de pertes alimentaires avant et après récolte, liée notamment à une accoutumance des parasites aux pesticides, d'autre part, aggravent notablement la situation.

Les solutions agronomiques à ce problème portent soit sur l'amélioration des techniques d'exploitation (irrigation, fertilisation, rotation des cultures, travail du sol,...) soit sur l'amélioration génétique du matériel végétal cultivé. En fait ces deux catégories de solutions doivent être étroitement associées, tant il est évident qu'il est préférable de fertiliser et d'irriguer des variétés améliorées, à fortes potentialités de rendement, plutôt que des variétés rustiques, adaptées aux conditions naturelles locales. L'amélioration variétale des cultures pour l'élévation des rendements et la disponibilité d'une gamme de variétés adaptées aux différentes contraintes du milieu (sol, climat, parasites,...) passe par l'inventaire, l'analyse, la conservation, l'échange et l'expérimentation du patrimoine génétique que constituent les populations sauvages et cultivées d'une espèce.

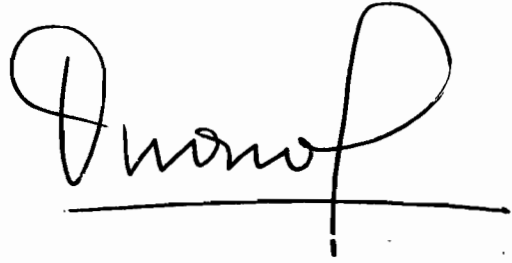
Or la dégradation rapide actuelle des écosystèmes naturels et la disparition accélérée dans les cultures des variétés locales, au profit de quelques variétés « améliorées », confèrent à ce travail d'inventaire, de conservation et d'analyse, une grande urgence.

Consciente de cette urgente priorité, l'Agence de Coopération Culturelle et Technique développe depuis plusieurs années un projet dans ce domaine.

Dans un premier temps, elle a surtout cherché à favoriser le stockage, l'échange et le traitement des informations afférentes à ces ressources en intervenant au niveau de l'inventaire sur le terrain, de l'analyse en laboratoire, de la constitution d'une banque de données informatisée et d'un réseau de spécialistes, et des publications. Dans une deuxième phase, le projet est appelé à s'orienter davantage vers l'application en s'ouvrant plus largement aux sélectionneurs, en mettant l'accent sur certaines productions et en favorisant une recherche interdisciplinaire.

Le présent manuel, rédigé par une équipe de spécialistes, sous la haute autorité du professeur PERNES, fait partie de ce projet. Sur la base d'exemples concrets qui sont l'objet du premier volume et constituent la synthèse de nombreuses années de recherches sur le terrain et au laboratoire, les auteurs développent, dans le deuxième volume, les principes et les techniques concernant la gestion des ressources génétiques. Ils ne cherchent pas à fournir au lecteur des « recettes de cuisine », mais à lui permettre, grâce à une revue large des concepts, des outils et des stratégies, de

déterminer ses propres orientations. Je ne doute pas qu'avec la clarté et l'ouverture sur l'avenir qu'a su lui imprimer le Professeur PERNES, ce manuel deviendra rapidement un document de référence indispensable à tous ceux qui sont concernés par la gestion des ressources génétiques.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'François', written in a cursive style. The signature is positioned above a horizontal line that extends across the width of the text below.

*François OWONO-NGUEMA
Secrétaire Général de l'Agence de Coopération
Culturelle et Technique*

AVERTISSEMENT

Ce manuel est destiné à donner au lecteur toutes les bases nécessaires à la gestion des ressources génétiques des plantes et à l'organisation scientifique et technique des centres responsables des conservations. Il est indispensable de se rendre compte que la gestion des ressources génétiques est très loin d'être une simple conservation et que les travaux qui doivent être réalisés ont pour but de faire fructifier le matériel végétal accumulé par l'acquisition des meilleures connaissances possibles des plantes étudiées, par l'enregistrement le plus utilisable possible des informations obtenues et par la création et la transformation de populations dont certaines esquisseront les structures génétiques de base ultérieurement utilisées par les sélectionneurs.

L'information biologique détaillée apportée aux utilisateurs est une mission primordiale, elle impose des travaux de synthèse importants pour que le sélectionneur ne soit pas trompé par une multiplicité d'informations parcellisées incontrôlables pratiquement.

Ainsi l'étude des ressources génétiques impose une approche globale des complexes d'espèces* et n'est pas une simple mise en collection associée à des répertoires de multiplications et de distribution.

De façon à ce que cet aspect global puisse être clairement compris par le lecteur, le manuel a été organisé pour que le grand nombre d'exemples dispersés illustrant les méthodes se rapportent à un petit nombre de plantes pour lequel la cohérence des études entreprises puisse être clairement affichée. D'où l'organisation du manuel en 2 parties: Monographies et Manuel proprement dit.

Les monographies concernent quatre plantes bien différentes. A travers ces quatre études les différentes techniques, méthodes et concepts analysés dans la 2ème partie du manuel seront illustrés et des renvois systématiques permettront de relier les exemples cités dans le 2ème volume à leur présentation intégrée dans les monographies. Ces monographies ne doivent cependant pas être considérées comme de simples catalogues d'exemples dont la réunion n'aurait pour but que d'alléger la partie « méthodologie ». Elles peuvent, et devraient, être lues pour elles-mêmes car elles ont été organisées de façon à donner une vue pratique et réaliste de la progression des travaux. A la suite de la lecture des monographies, l'essentiel des principes et méthodes de ressources génétiques devrait être déjà acquis. La partie « méthodologie » du manuel regroupera sous forme systématique, ce que les monographies auront introduit sous la forme vivante. Telle est du moins l'intention des auteurs.

Les quatre monographies correspondent à des travaux qui sont à des états d'avancement variés. C'est volontairement que certains domaines ne sont pas présentés sous forme définitive pour que le lecteur se rende compte de la progression des études et ait une claire conscience des travaux de ressources génétiques en cours. Du point de vue biologique, beaucoup des informations de cette partie monographies paraîtront incom-

* Ce terme est longuement défini dans le tome 2 et comprend pour une plante donnée, des formes cultivées et des formes spontanées.

plètes ou rapidement dépassées. Ceci serait un handicap s'il s'agissait de mises au point sur des complexes d'espèces pour eux-mêmes. Dans le cadre de ce manuel, il nous paraît au contraire très avantageux que les futurs gestionnaires de ressources génétiques de plantes définies, ne soient pas écrasés par l'énormité des tâches à entreprendre et se rendent compte de la manière dont, petit à petit, les centres sont constitués à partir d'études apparemment ponctuelles et indépendantes et dont la cohérence n'apparaît que progressivement. La conception de la gestion des ressources génétiques ne peut jamais précéder la connaissance du complexe d'espèces en cause et certaines monographies montreront nettement comment l'accumulation de certaines connaissances développe des consignes d'organisations des centres de ressources génétiques qu'il eût été impossible d'établir de façon abstraite.

La première monographie concerne une plante fourragère *Panicum maximum* pour laquelle le travail de ressources génétiques a connu un développement complet et systématique. Il donne un schéma menant le lecteur au problème initial: « qu'est-ce et comment fonctionne le complexe du *Panicum*? » jusqu'à ses solutions finales: organisation des ressources génétiques *Panicum* et l'intégration de cette conservation et de l'amélioration génétique. L'étude du *Panicum maximum* permettra de présenter une plante pérenne herbacée pour laquelle la multiplication clonale est possible et dont le reproduction par graine peut se faire sous deux modalités: sexualité et apomixie.

La monographie concernant les Caféiers donnera un exemple d'organisation de centre de ressources génétiques pour une plante pérenne arbustive dont le complexe d'espèces est extrêmement divers. Ce sera l'occasion d'insister sur des problèmes de collectes des plantes spontanées de forêt pour lesquelles la prospection est une tâche particulièrement ardue.

La monographie sur les riz étudiera l'organisation des ressources génétiques dans les cas d'une céréale autogame et sera l'occasion d'illustrer deux points particuliers:

1. le repérage et l'identification des *formes spontanées* qu'il paraît nécessaire de protéger, de conserver ou de multiplier pour enrichir la variabilité des complexes d'espèces des riz.

2. comment les études du polymorphisme enzymatique permettent de décrire clairement les relations entre les différentes formes cultivées, d'inventorier des variétés particulièrement originales et d'élaborer une évaluation génétique destinée à offrir aux utilisateurs des taxonomies fines utilisables pour bien mener l'échange et l'acquisition des collections. Dans le cas des riz, l'intégration des financements internationaux dans les travaux d'un groupe de chercheurs déterminé sera clairement mise en évidence.

La présentation des travaux sur le mil concerne des études qui sont dans un état de moindre avancement comparativement aux autres monographies. Il s'agit là encore d'une céréale mais cette fois-ci le mode de reproduction allogame conduit à des structures des variétés traditionnelles en populations complexes, et de ce fait présente des problèmes particuliers difficiles et d'ailleurs, d'une façon générale, non résolus, concernant la conservation de ce genre de plante. Ce sera l'occasion de souligner l'urgente nécessité de résoudre les problèmes d'organisation de conservation des variétés traditionnelles paysannes souvent couplées sans barrières reproductives absolues à des populations de formes sauvages. Les

formes cultivées traditionnelles ne se maintiennent que grâce à la vigilance des paysans qui imposent sans cesse des sélections et on verra ainsi que conservation signifie aussi et clairement sélection, bien que cela puisse paraître paradoxal. Ceci ouvrira donc ce problème de l'engagement de la responsabilité des organisateurs de ressources génétiques qui ne doivent jamais être passifs mais toujours veiller à travailler leurs collections de façon la moins destructrice possible de la variabilité préexistante et la plus créative possible de variabilités nouvelles, sans risquer d'être étroitement orientés par les objectifs des sélectionneurs mais sans perdre la connaissance de leurs buts puisqu'il faut pouvoir les servir et les enrichir.

En achevant la lecture de ces monographies on devrait se rendre compte à quel point le couplage de l'organisation de l'amélioration des plantes et la gestion des ressources génétiques est un point favorable qu'il faut bien traiter. Les collections de ressources génétiques ne peuvent pas être sous la dépendance des impératifs budgétaires des stations d'amélioration des plantes et ne doivent pas être modifiées ou créées en fonction des objectifs de sélection; mais il est bien évident que toute gestion de ressources génétiques qui n'apporte pas d'éléments de connaissances et du matériel végétal neuf pour le sélectionneur perd toute son utilité. Un bon gestionnaire de ressources génétiques pensera ses problèmes en améliorateur des plantes soucieux prioritairement de la variabilité génétique de son matériel végétal. Il devra même penser que son rôle peut aller jusqu'à proposer des structures génétiques nouvelles des variétés, telles que le polymorphisme génétique caché permette de ralentir le rythme des remplacements des variétés dans les circuits commerciaux. Créer des variétés plus stables et plus sûres est un objectif important pour les gestionnaires des ressources génétiques.

J. PERNES

PANICUM MAXIMUM

1. The first part of the document is a list of names and titles.

I. INTRODUCTION

La première plante étudiée par le groupe Ressources Génétiques de l'ORSTOM a été une plante fourragère, le *Panicum maximum*. Pour la plupart des observateurs, comme pour l'IBPGR, qui classe les plantes fourragères au dernier rang de ses priorités, c'est un choix inattendu. Quelques chiffres permettent pourtant de justifier une telle action :

- de 1970 à 1978, la population mondiale a augmenté de 18%,
 - pendant la même période, le cheptel bovin ne s'est accru que de 8%,
 - 69% de ces animaux sont en zone tempérée. 16% en Inde,
 - en zone tempérée, 75% des animaux utilisent des fourrages améliorés,
 - en zone tropicale, ils sont presque exclusivement sur pâturages naturels,
- la production primaire (matière verte des fourrages tropicaux est 2 à 4 fois supérieure à celle des fourrages des zones tempérées. (données avancées par MOTT, 1981).

De ceci il ressort qu'on ne peut raisonnablement espérer réduire le déficit croissant en protéines animales autrement que par un accroissement de l'élevage dans les pays de la zone intertropicale. Un effort de recherches était et reste nécessaire, tant dans le domaine de la gestion des pâturages naturels - un potentiel encore très mal exploité - que dans la création de pâturages artificiels.

L'Afrique est le berceau de la majorité des graminées intertropicales, et notamment de la plupart des graminées fourragères. Pourquoi alors avoir choisi *Panicum maximum* plutôt qu'une autre espèce ?

Les impressions des agrostologues au début des années 60, confirmées par une avalanche de données expérimentales plus récentes, plaçaient le *Panicum maximum* au premier rang des graminées à cultiver. Un exemple : sur 25 graminées testées au Brésil avec des zébus (ALCANTARA et al. 1981), le *Panicum maximum* var. *coloniao* est l'espèce fourragère la mieux appréciée. Dans la zone amazonienne, 3 millions d'hectares de forêt ont été détruits, brûlés, pour être ensuite semés par avion, avec cette variété de *Panicum* (SERRAO et al. 1978).

Des raisons d'ordre agronomique existent donc pour un tel choix. Mais aussi des raisons plus biologiques, plus fondamentales. En 1964, quand commence à l'ORSTOM le programme *Panicum*, c'est un peu un pari qui est tenté : comment peut-on envisager l'étude et l'amélioration génétique d'une plante connue pour se reproduire de manière exclusivement asexuée ? Au début des années 50, les travaux de WARMKE (1954) ont en effet montré que *Panicum maximum* était une espèce tétraploïde ($2n=4X=32$ chromosomes) formant des graines par apomixie.

L'apomixie ? Les descendances de plantes apomictiques sont rigoureusement homogènes, et de phénotype identique à celui de la plante-mère. Dans l'histoire de la graine (figure 1), l'embryon est en effet formé à partir d'une cellule somatique, cellule du nucelle. Les processus clés de la sexualité, la réduction chromatique et la fécondation, sont contournés. A partir d'une cellule maternelle non réduite, un sac embryonnaire est pourtant formé. C'est une structure à 4 noyaux : une oosphère, deux synergides et un unique noyau polaire. L'embryon se développe à partir de l'oosphère, mais seul l'albumen résulte d'une fécondation. L'apomixie du *Panicum* est

qualifiée de facultative (par opposition à l'apomixie obligatoire) parce qu'il subsiste un certain nombre de sacs embryonnaires issus du processus sexué normal, et qu'on observe en conséquence un certain nombre de plantes de phénotype non maternel dans les descendance, qu'on appelle des hors-types. Ceux-ci sont toutefois trop peu nombreux pour permettre de réaliser des hybridations avec un taux de réussite suffisant. Un facteur diablement limitant dans une perspective d'amélioration génétique!

II. LES PROSPECTIONS

A. LA PRÉPARATION

Entre 1964 et 1967, des observations ont été effectuées simultanément sur :

- du matériel introduit à partir de différentes stations de recherches agronomiques de la zone intertropicale (essentiellement du continent africain),

- des plantes collectées à l'intérieur de la Côte d'Ivoire,
- des échantillons d'herbier.

Le tableau 1 dresse la liste des plantes introduites. Les données rassemblées sur ce matériel et sur herbier ont permis la mise en évidence d'un centre de diversité très important, qui ne se situait pas en Afrique de l'Ouest comme on aurait pu l'attendre du nom commun de l'espèce (l'herbe de Guinée), mais en Afrique de l'Est. C'est ce qui a motivé les deux prospections réalisées au Kenya et en Tanzanie.

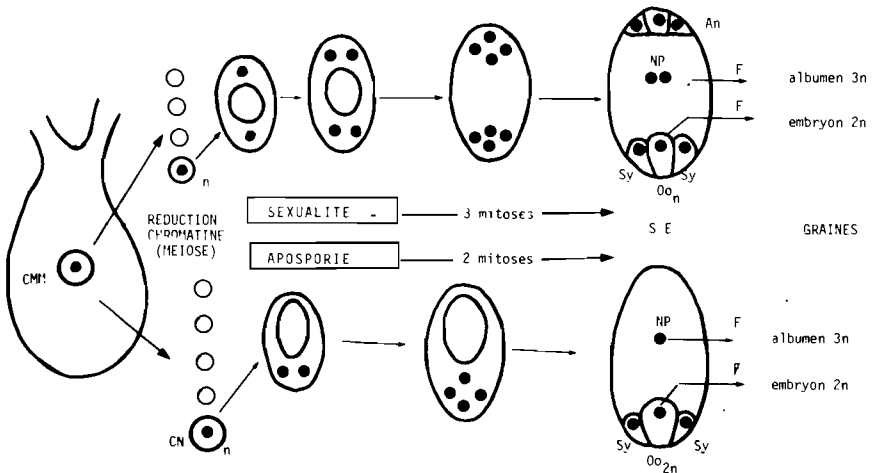


Figure 1: Formation des sacs embryonnaires (SE) et des sacs asexués (SA) chez *Panicum maximum*. L'apomixie est facultative: les sacs embryonnaires sont généralement issus d'aposporie (formation à partir d'une cellule somatique non réduite), mais quelques uns résultent encore d'un processus sexué normal. Le pollen des plantes apomictiques est réduit et viable. La fécondation ne concerne que le noyau polaire dans le cas de l'apomixie; elle concerne l'oosphère et les deux noyaux polaires dans le cas de la sexualité.

An: antipodes, CMM: cellule-mère de la mégaspore, CN: cellule du nucelle; NP: noyaux polaires, Oo: oosphère, Sy: synergides. F: fécondation, F/: non fécondation. (d'après Combes 1972).

TABLEAU 1

Liste des introductions de *Panicum maximum* réunies en Côte d'Ivoire de 1964 à 1967.

n.b. : nombre d'introduction par pays.

Pays expéditeurs	nb	Pays expéditeurs	nb
AFRIQUE			
Angola	9	Madagascar	2
Afrique du Sud	16	Mali	1
Bénin	1	Maroc	2
Burundi	1	Nigeria	6
Cameroun	9	Ouganda	1
Centratricque	5	Rhodesie	14
Congo	3	Ruanda	2
Ethiopie	6	Sénégal	1
Gabon	2	Tanzanie	4
Kenya	13	Zaire	3
AUTRES RÉGIONS			
Australie	28	Jamaïque	2
Brésil	9	Sri Lanka	1
Costa Rica	1	Surinam	1
Guadeloupe	6	Vénézuéla	2
Haïti	1	Vietnam	1
Honduras	1		
total introductions :			154

B. LA RÉALISATION

— Prospection continue en Côte d'Ivoire (1964 à 1966)

Entre Octobre 1964 et Novembre 1966, 129 échantillons ont été collectés en Côte d'Ivoire. Ils ont pu être regroupés essentiellement en deux types morphologiques distincts (types I et II, figure 2). Les *Panicum maximum* s'observent surtout le long des routes, en bandes continues, qui peuvent atteindre plusieurs kilomètres de long, sur seulement quelques mètres de large. Ces populations ivoiriennes se caractérisent par leur monomorphisme, quelquefois troublé par de très petites colonies de phénotype différent, où les plantes sont pentaploïdes ($2n=40$) ou hexaploïdes ($2n=48$).

— Première prospection en Afrique de l'Est (1967)

La première prospection effectuée en Juillet 1967 a tout d'abord confirmé l'existence, en Afrique de l'Est, d'une variabilité considérable. Cette prospection a couvert le Sud du Kenya et le nord de la Tanzanie. 249 échantil-

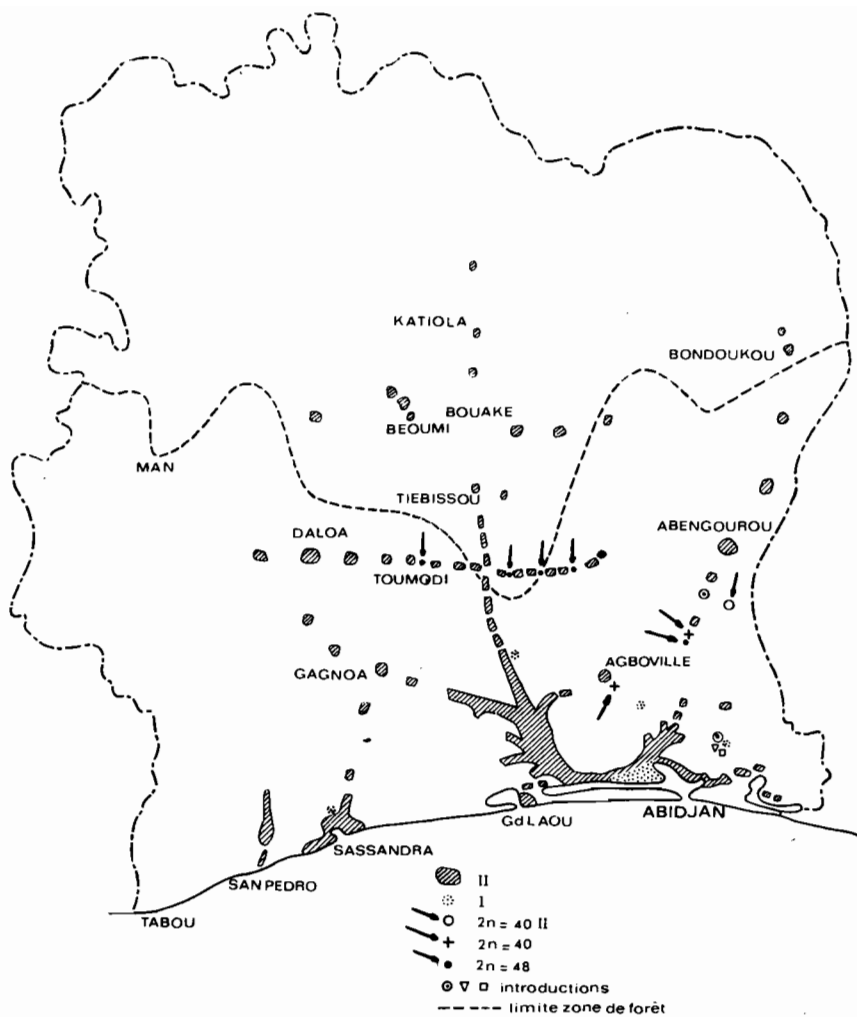


Figure 2: Répartition des divers types de *P. maximum* en Côte d'Ivoire (d'après PERNES et COMBES 1970).

lons ont été prélevés. L'itinéraire suivi, centré sur Nairobi (figure 3), comprenait deux boucles, l'une vers le nord (Maralal) et faisant le tour du Mont Kenya, l'autre vers le sud (Tanzanie du nord-est). Le trajet définitif, établi avec l'aide des botanistes de l'Université de Nairobi a permis:

- de prospecter des zones très variées, remarquables par leur végétation, comme la limite de la Rift Valley, la zone très aride au sud de Maralal, les pentes du Mont Kenya ainsi que les régions de piedmont du Kilimandjaro et des Monts Usambara (Korogwe).

- d'établir un point fixe au jardin botanique de l'Université de Nairobi où les éclats de souche des échantillons récoltés dans la première boucle ont pu être replantés provisoirement. Ceci a permis de les conserver dans

d'excellentes conditions tandis que la seconde boucle, vers le sud, était effectuée.

On retrouve en Afrique de l'Est des situations semblables à celle qui vient d'être décrite pour la Côte d'Ivoire. Mais ce type de population constitue un cas marginal. Dans certaines zones, les populations sont assez étendues pour que l'on puisse parler de savanes à *Panicum maximum*. A l'intérieur de celles-ci les plantes paraissent encore phénotypiquement homogènes, mais sans atteindre la régularité d'aspect des longues colonies linéaires de Côte d'Ivoire. D'autres zones montrent une diversité très grande d'une colonie à l'autre; et certaines colonies, d'une superficie de quelques hectares, présentent en association des phénotypes très distincts. Il y a ainsi généralement 3 ou 4 phénotypes dominants qui sont soit très imbriqués sur

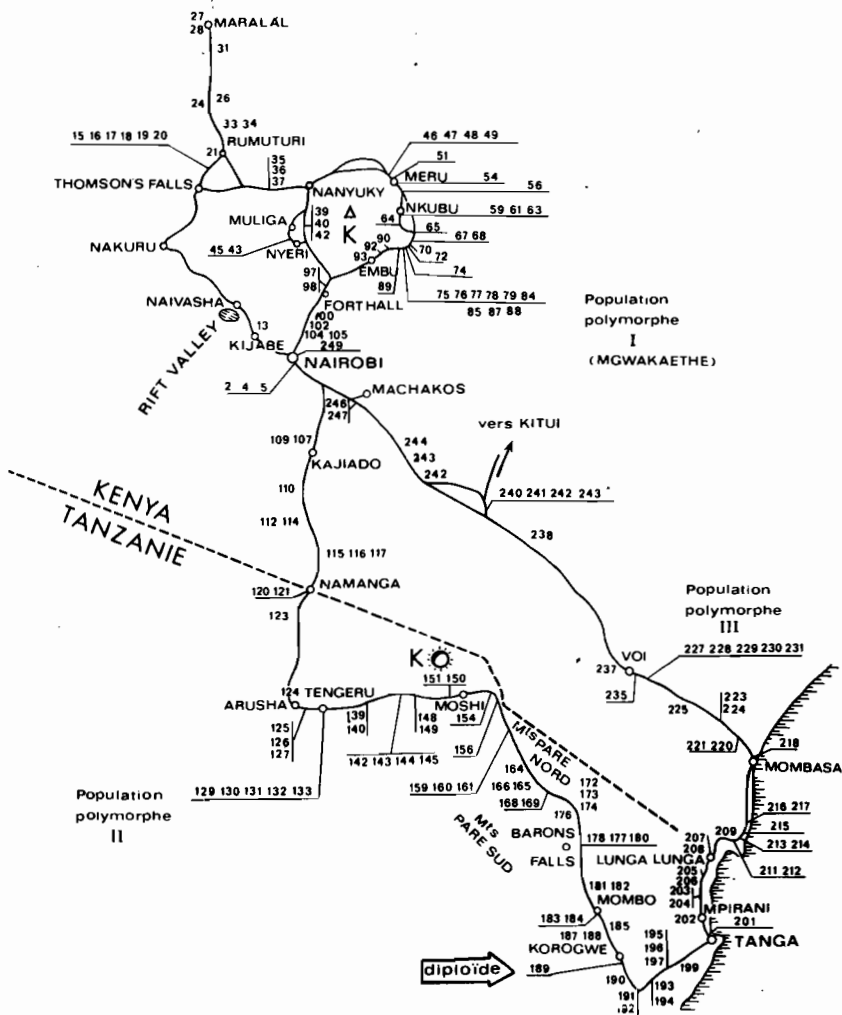


Figure 3: Carte de la prospection de 1967 (d'après Combes 1972)

le terrain, soit au contraire séparés en des habitats différents. On n'observe guère de phénotypes intermédiaires dans ce type de population.

Le résultat le plus important de cette prospection, outre l'acquisition d'une variabilité génétique considérable, est la découverte d'une petite colonie diploïde ($2n=16$) et entièrement sexuée, dans la région de Korogwe, en Tanzanie. Autre résultat intéressant: des formes morphologiquement intermédiaires entre le *Panicum maximum* et deux autres espèces, *P. infestum* Anders et *P. trichocladum* K. Schum., ont été observées. Tout ceci justifiait l'organisation d'une deuxième prospection, afin d'échantillonner plus en détail les zones s'étant révélées les plus intéressantes.

— Deuxième prospection en Afrique de l'Est (1969)

La deuxième prospection en Afrique de l'Est, dont le but essentiel était d'augmenter la variabilité du pool sexué, a été précédée d'un examen attentif du clone K189, diploïde sexué rapporté de Tanzanie en 1967. Une technique rapide de criblage des diploïdes par observation du nombre et de la taille des stomates a été notamment mise au point.

L'effort des prospecteurs a naturellement porté avant tout sur la région de Korogwe, d'où provenait le premier diploïde sexué, et sur les zones où des formes morphologiquement intermédiaires entre les différentes espèces du complexe avaient été rencontrées (Mgwakaethe). D'autres zones de Tanzanie ont été explorées, notamment entre Dar es Salaam et Bagamoyo, où une forme apomictique présumée hybride interspécifique entre *Panicum maximum* et *P. infestum* et à fort taux de sexualité (T19) a été collectée. Cette deuxième prospection a permis la découverte d'un nouveau centre de diploïdes, près de Bagamoyo. 156 nouveaux échantillons ont été finalement rapportés (figure 4). Le nombre total des clones diploïdes et sexués était porté à 22.

Sur l'ensemble des deux prospections en Afrique de l'Est, on constate que la variabilité s'organise en différents types de populations, que l'on peut regrouper en quatre grandes catégories, schématisées dans la figure 5:

- I. regroupant les populations monomorphes, assez peu différentes les unes des autres (région de Maralal-Rumuruti, groupes la, b, c, et la', b', c'). Si à l'intérieur d'un groupe les plantes paraissent peu différentes, par contre entre groupes les phénotypes sont bien tranchés, et l'on peut observer, au contact de ces groupes, des populations d'un type nouveau (Id et d') qui ne se rapprochent d'aucun des deux groupes,

- II. regroupant des populations monomorphes de phénotypes très distincts, telles les populations observées entre Meru et Embu, de Nairobi à Mombasa, de Nairobi à Mamanga, de Dar es Salaam à Kilosa,

- III. regroupant des populations polymorphes constituées de phénotypes très tranchés (variabilité discontinue) rencontrées au milieu de populations du type précédent (exemples: population de Mgwakaethe entre Meru et Embu, Voi entre Nairobi et Mombasa, Dar es Salaam),

- IV. vaste population polymorphe, dans une zone où *P. maximum* est la graminée dominante, la variabilité marquant plus de continuité que dans les types précédents.

Dans toutes ces populations les plantes sont tétraploïdes ($2n=32$), à deux exceptions près, où des diploïdes sont observés en mélange: dans la région de Korogwe-Vugiri, et près de Bagamoyo (marais du Kingoni).

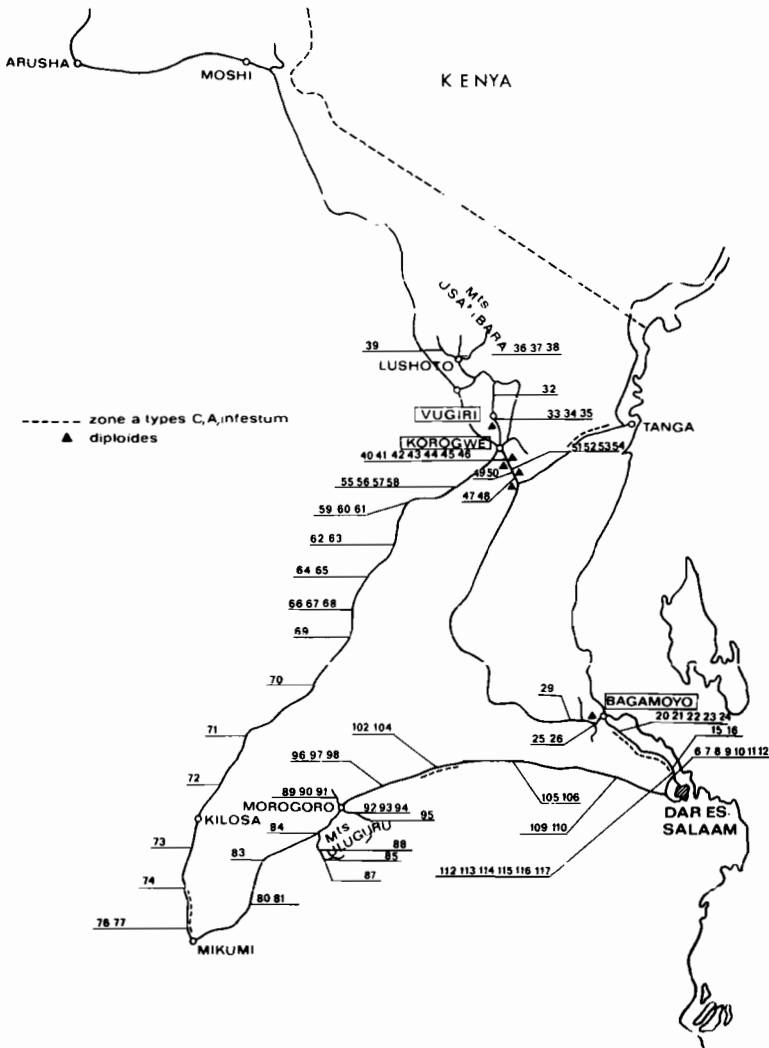


Figure 4: Carte de la prospection de 1969 (d'après Combes 1972).

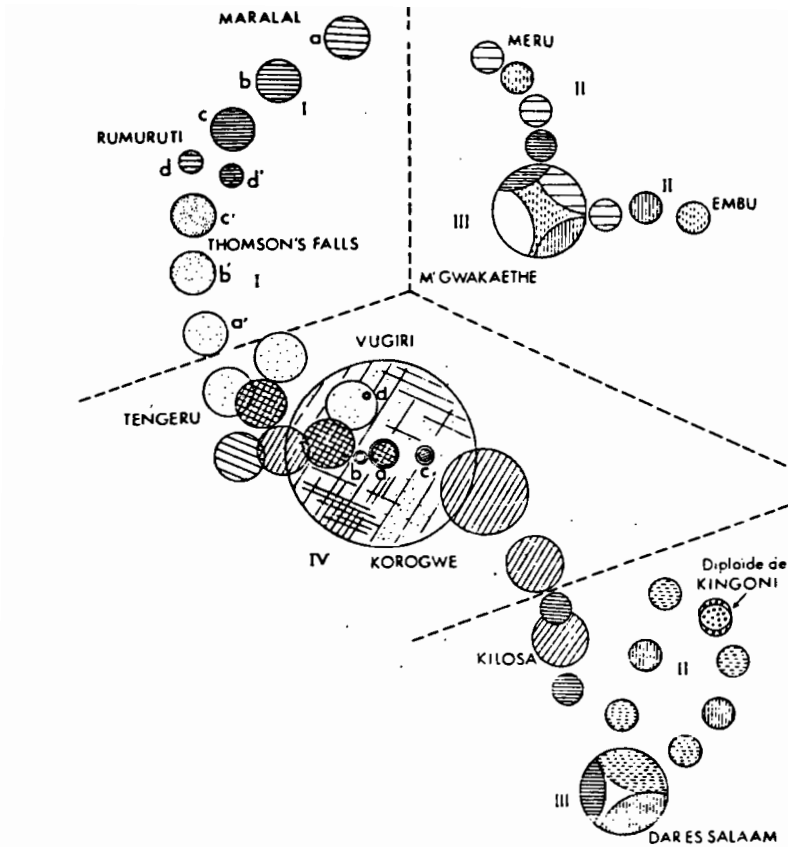


Figure 5: Schéma de divers ensembles de populations et de leur localisation approximative en Afrique de l'Est (COMBES et PERNES, 1970).

Les différents ombrages symbolisent le degré d'hétérogénéité intrapopulation ou de ressemblance interpopulation.

- 0 Diploïdes de KOROGWE
- I Groupes homogènes de populations monomorphes
- II Groupes hétérogènes de populations monomorphes
- III Populations polymorphes à variabilité discontinue, et hybrides interspécifiques avec *P. infestum*.
- IV Populations polymorphes de phénotypes voisins.

C. ÉCHANTILLONNAGE

Les échantillons collectés au cours des deux prospections en Afrique de l'Est étaient parfois sous forme de graines, mais le plus souvent sous forme d'éclats de souches (quelques tiges). Le tableau 2 montre quelle était la proportion de ces deux types d'échantillons.

TABLEAU 2

Nombres d'échantillons rapportés des deux prospections en Afrique de l'Est, et types d'échantillons (graines ou éclats de souches).

	prospection de 1967	prospection de 1969	total%
graines	75	42	28,9
éclats	174	114	71,1
total	249	156	

III. LES COLLECTIONS

Une collection vivante a été installée sur une parcelle du Centre OR-STOM D'Adiopodoumé, en Côte d'Ivoire, en avril 1969, qui réunissait les plantes introduites à partir d'autres stations et les plantes prospectées en Afrique de l'Est et en Côte d'Ivoire. Chacun des clones était représenté par une ligne de huit pieds, séparée de la suivante d'environ un mètre vingt. Cette collection a été entretenue par rééclatement des souches sur place, des nettoyages fréquents et apports d'engrais, ceci pendant dix ans, toujours sur la même parcelle. Cette collection vivante a été déplacée en 1978 sur une nouvelle parcelle (voir planche I).

A. RÉUSSITE À L'IMPLANTATION

Le tableau 3 dresse le bilan des reprises au moment de l'implantation du matériel en collection en 1969. Peu de pertes ont été enregistrées à partir des éclats de souches; tandis que l'état des graines récoltées et une mauvaise connaissance, à cette époque, des conditions de levée de dormance, ont entraîné la perte d'environ 40% des échantillons rapportés sous cette forme.

TABLEAU 3

Taux de réussite à l'implantation en collection, pour les échantillons rapportés d'Afrique de l'Est, suivant qu'il s'agissait de graines ou d'éclats de souches.

	échantillons prospectés	réussite à l'installation	%
graines	117	69	59,0
éclats	288	267	92,7

B. PERTE DE MATÉRIEL SUR 10 ANS

L'entretien d'une collection de plantes apomictiques, et sa régénération périodique par voie de graines (ce qui a été réalisé en 1978), ne pose à priori aucun problème sérieux. Tout de même, lorsqu'on travaille avec des graminées sauvages ou spontanées, dotées d'une forte tendance à la caducité des épillets, la pureté clonale au sein de la collection ne peut être maintenue que si l'on reste extrêmement vigilant. L'installation sur le terrain des différents clones dans l'ordre suivant lequel ils ont été collectés - ce qui est particulièrement intéressant pour visualiser le polymorphisme d'une population donnée - a favorisé une certaine érosion génétique, dans la mesure où deux clones voisins peuvent aussi être phénotypiquement très semblables et donc s'intermélanger facilement. Ceci a surtout été vrai pour les populations monomorphes comme celles qui ont été prospectées en Côte d'Ivoire. Toutefois, et concernant le seul matériel rapporté d'Afrique de l'Est, le tableau 4 montre que les pertes de matériel en 10 ans sont restées très limitées : seulement 5% (17 plantes sur 334), ce malgré des conditions environnementales assez défavorables.

TABLEAU 4

Pertes en 10 ans de maintien en collection, parmi les échantillons rapportés d'Afrique de l'Est.

	installés en 1969	toujours présent en 1979
Prospection de 1967	201	199
Prospection de 1969	133	118
total	334	317

La nouvelle collection, installée en 1978, ne laisse plus qu'une faible place aux échantillons prospectés en Côte d'Ivoire, dont nous avons signalé la faible variabilité. Pour les introductions à partir de stations et les clones issus des deux prospections en Afrique de l'Est, les acquis ont donc été presque intégralement conservés.

C. CONSERVATION DES GRAINES ET PROBLÈMES DE GERMINATION

Les difficultés rencontrées dans le maintien d'une collection vivante au champ sont un encouragement à réaliser la conservation du potentiel sous forme de graines, en conditions de température et d'humidité bien contrôlées. Un effort a été fait dans ce sens au cours des dernières années,

intensifié depuis 1980 (la plupart des clones prospectés en Afrique de l'Est sont conservés au froid 5°C) sur le Centre de Bondy (France), de même que des graines de plantes sexuées tétraploïdes obtenues en polycross. Cette collection est en cours de complémentation.

Les différentes études réalisées sur les problèmes grainiers (PERNES et al. 1975a), la dormance des graines et les conditions de sa levée (SOU-CIET 1978), permettent maintenant d'envisager le maintien des collections sous formes de graines sans les risques encourus au moment de l'installation de la collection vivante, en 1969. L'ablation des glumelles des semences dormantes augmente notablement le taux de germination, et l'on sait, si besoin est, obtenir une levée proche de 100% par culture d'embryons.

IV. ÉVALUATION

L'évaluation n'est pas que l'étape « suivante ». On peut considérer qu'elle a déjà accompagné les périodes de prospection et de collecte. Le déroulement des prospections qui viennent d'être décrites, et là phase d'amélioration qui sera abordée plus loin, ont été constamment supportés par les analyses qui sont exposées maintenant.

A. DESCRIPTION DE LA DIVERSITÉ — ÉLABORATION DE CLASSIFICATIONS

L'observation constante du matériel en collection, et la multiplication de petites expérimentations comparatives visant essentiellement à tester les aptitudes fourragères et grainières des clones en collection, ont permis d'établir progressivement, par corrections successives, la liste des descripteurs qualitatifs et quantitatifs présentés dans le tableau 5 qui suit.

La codification des caractéristiques retenues approche une formulation définitive bien que certaines conditions d'observation demandent encore à être précisées, notamment pour les caractères de pilosités, qui pourraient être modifiés en fonction de l'âge physiologique de la plante, des conditions de milieu ou tout simplement de la partie de la plante sur laquelle on fait la notation, le caractère s'exprimant de façon hétérogène sur l'individu.

L'utilisation de différentes techniques (voir Tome II) d'analyse multivariée — description et classification — et la confrontation des résultats obtenus, ont permis de décrire le complexe d'espèces du genre *Panicum* étudié. Notons que l'interprétation faite par PERNES (1972) à partir des premières de ces analyses, repose sur une exploitation d'environ un million de notations et mesures!

La figure 6 constitue un exemple de représentation graphique globale de la diversité du matériel. Il s'agit dans ce cas d'une analyse des correspondances basée sur les descripteurs figurant dans le tableau précédent, et

TABLEAU 5 (1)

Fiches descriptives utilisées pour *Panicum maximum* (descripteurs morphologiques)

VARIETE : N° :

ORIGINE : Prospection ORSTOM : - Introduction : - Hybridation :
 Autre origine : Précisions supplémentaires (1) :

NOMBRE CHROMOSOMIQUE / 16 : - 32 : - 48 : - Autre :

MODE DE REPRODUCTION / Sexualité : - Apomixie :
 Taux de sexualité :

TAILLE : 80 cm : - 80 cm à 100 cm : - 100 cm à 120 cm :
 (2) 120 cm à 140 cm : - 140 cm et plus :

ASPECT GENERAL

DENSITE DE TALLES : Moyenne : - Forte : - Très forte :

ASPECT DES TALLES : Fines : - Moyennes : - Grosses :

PORT DU PIED : Rampant : - Etalé : - Demi-étalé : - Dressé :

FORMES DES FEUILLES : Très fines : Fines : - Moyennes :
 Larges : - Très larges :

PORT DES FEUILLES : Dressée : - Cassée : - Retombante :

COULEUR DES FEUILLES : Vert-bleu : - Verte : - Vert-jaune :

PILOSITE DE LA GAINE / Absente : - Peu : - Moyenne :
 (3) Beaucoup :

ASPECT DE LA PILOSITE Absente : - Durs : - Mous :
 DE LA GAINE - Courts : - Longs :

PILOSITE DU LIMBE Absente : - Peu : - Moyenne :
 (3) Beaucoup :

PILOSITE DU LIMBE Absente : - Durs : - Mous :
 - Courts : - Longs :

P I L O S I T E

PILOSITE A LA BASE Absente : - Peu : - Moyenne :
 DU LIMBE (3) Beaucoup :

ASPECT DE LA PILOSITE Absente : - Durs : - Mous :
 A LA BASE DU LIMBE Courts : - Longs : - Très longs :

PILOSITE DU NOEUD Absente : - Peu : - Moyenne :
 (3) Beaucoup :

ASPECT DE LA PILOSITE Absente : - Durs : - Mous :
 DU NOEUD - Courts : - Longs :

PILOSITE DES EPILLETES Absente : - Présente :

PILOSITE DU VERTICILLE Absente : - Présente :

I N F L O R E S C E N C E S

FORME DE L'INFLORESCENCE : *P. maximum* typique : - Racème typique :
 Intermédiaire :

PRUINE : Présente : - Absente :

RAMIFICATIONS PRIMAIRES : Courtes : - Moyennes : - Longues :
 (4)

RAMIFICATIONS SECONDAIRES : Absentes : - Courtes : - Longues :
 (5) Hautes : - Basses :

DISTRIBUTION DES EPILLETES : Serrée : - Dispersée :
 Uniforme : - Par groupes :

E P I L L E T E S

FORME DES EPILLETES : Normale : - Allongée : - Tossée :

GROSSEUR DES EPILLETES : Normal : - Petit : - Gros :

COULEUR DES EPILLETES : Vert : - Jaune :

TACHES SUR LES EPILLETES : Absentes : - Brunées : - Rouges :
 Violettes :

TABLEAU 5 (2)

Fiches descriptives utilisées pour *Panicum maximum* (descripteurs agronomiques et légende).

FLORAISON (6)

En collection : J F M A M J J A S O N D Année :

En culture intensive : J F M A M J J A S O N D Année :

COMPORTEMENT FOURRAGER (7)

Nom de l'essai : Lieu : Date :

Conditions: intensives : -Semi-intensives :

Témoin principal :

Nombre de clones en comparaison : Surface/clones :

Résultats : Matière verte (T/ha/an) : Témoin : Place :
 % Matière sèche : Témoin : Place :
 Matière sèche (T/ha/an) : Témoin : Place :
 % Feuilles moyen : Témoin : Place :
 Matière sèche foliaire : Témoin : Place :
 Matière azotée (T/ha/an): Témoin : Place :

Nom de l'essai : Lieu : Date :

Conditions : Intensives : - Semi-intensives :

Témoin principal :

Nombre de clones en comparaison : Surface/clones :

Résultats : Matière verte (T/ha/an) : Témoin : Place :
 % Matière sèche : Témoin : Place :
 Matière sèche (T/ha/an) : Témoin : Place :
 % Feuilles moyen : Témoin : Place :
 Matière sèche foliaire : Témoin : Place :
 Matière azotée(T/ha/an) : Témoin : Place :

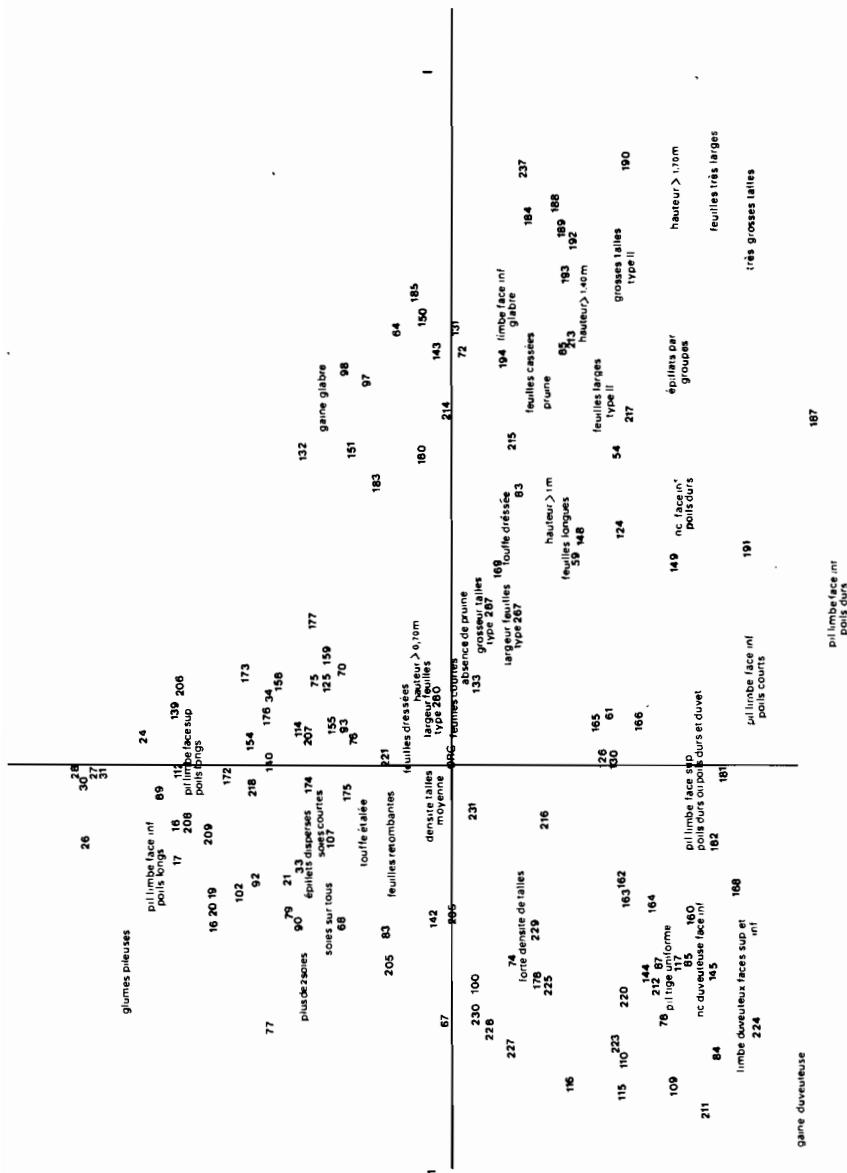


Figure 6: Analyse des correspondances de la première prospection; représentation dans les 2 premiers axes (abscisses et ordonnées respectivement). Les caractères sont placés au barycentre des numéros qui les possèdent. (PERNES, 1972).

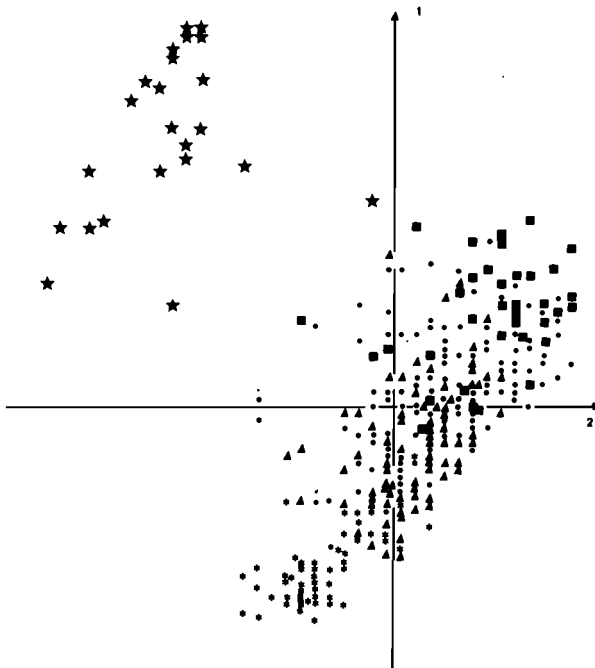


Figure 7: Groupes obtenus par l'analyse des nuées dynamiques de DIDAY, représentés dans le plan des deux premières composantes de l'analyse des correspondances. (■) groupe 1, (★) groupe 2, (●) groupe 3, (▲) groupe 4, (●) groupe 5. (CHAUME, non publié).

concernant les plantes collectées lors de la première prospection (1967).

Cette image révèle les différentes tendances d'une dispersion plus particulièrement marquée par des caractères comme :

- le duveteux des limbes (vers axe 1 négatif, 2 négatif),
- les épillets à glumes pileuses, avec présence de soies et limbes pileux (vers axe 2 positif),
- les talles et feuilles de grand format (vers axe 1 positif, 2 négatif).

Elle peut permettre également de situer toute nouvelle introduction par rapport aux précédentes, pour peu que l'observation des caractères ait pu être réalisée dans les mêmes conditions à peu près normalisées, et donc d'apprécier ainsi l'enrichissement de la diversité que ce nouvel apport représente. Nous verrons plus loin comment cette représentation peut être utilisée pour apprécier également la structure des différentes populations échantillonnées.

Les mêmes données de base peuvent être exploitées pour tenter de construire une classification de l'ensemble du matériel prospecté, utilisant par exemple la méthode des nuées dynamiques de DIDAY (voir Tome II). Cette méthode a conduit à une représentation en cinq groupes, qui sont reportés sur une deuxième analyse des correspondances (figure 7), concernant un matériel plus important que dans l'analyse qui précède (figure 6). On constate que les groupes 1, 2, 4 et 5 sont assez bien

caractérisés, avec des étendues limitées, sans trop de chevauchement. Par contre le groupe 3 recouvre pratiquement toute la surface occupée par l'ensemble des *Panicum maximum*; il s'agit donc d'un groupe de caractérisation impossible, du moins à l'aide des plans étudiés.

Cette analyse montre qu'il n'est pratiquement pas possible de définir des groupes bien délimités dans un tel matériel. Il n'y a pas de cassure nette entre les types morphologiques contenus dans les groupes 1, 2, 3 et 4. De plus, le groupe 3 constitue un grand ensemble contenant des phénotypes proches de ceux des trois autres groupes, dont nous avons dit qu'ils étaient, quant à eux, assez bien caractérisés.

La classification des graminées à reproduction apomictique a toujours été un casse-tête pour systématiciens. L'utilisation des techniques modernes de la taxinomie numérique, comme celles que nous venons de voir, confirme la complexité du problème pour un complexe agamique comme celui du *Panicum maximum*: nous ne sommes toujours pas capables de faire des groupes distincts pour l'ensemble des phénotypes étudiés. Bien que l'ensemble ne soit pas entièrement classifiable, on reconnaît tout de même un groupe bien séparé du reste, celui des types C et D (groupe 5 de la figure 7), et parmi les *Panicum maximum* trois grandes tendances:

- les grands *Panicum* du type Korogwe ou Sotuba (groupe 2),
- les types de taille moyenne, pileux et duveteux, du type K211 ou type B (groupe 1),
- les types de taille moyenne, peu pileux (ou glabres) et la majorité des diploïdes (groupe 4).

Un certain empirisme s'impose donc pour proposer une classification permettant de manière efficace d'organiser des évaluations agronomiques hiérarchisées (voir TOME II). La netteté d'une classification, comme celle que nous proposons ci-après (tableau 6), s'atténuera encore dans le temps à la suite des hybridations qui peu à peu fonderont ces catégories en un vaste continuum.

Pourquoi donc dans de telles conditions s'acharner à définir un classement le plus rigoureux possible du matériel de collection? Les efforts consentis dans ce domaine ont au moins deux raisons d'ordre pratique:

- il s'agit de bien définir les variétés de référence utilisées un peu partout dans le monde dans des essais fourragers, par rapport à la diversité d'ensemble représentée par notre collection,
- il s'agit d'aider aux nécessités de choix, donc à une identification aussi précise que possible des sources de caractéristiques diverses, ceci tant pour des essais de comportement multilocaux que pour les programmes d'hybridations.

B. ORGANISATION DES POPULATIONS DU COMPLEXE

1. Les populations naturelles

L'image des diversités observées dans les différentes catégories de populations décrites page 22 peut être obtenue en soulignant, dans la figure 6, les points représentatifs des plantes collectées dans chaque zone.

Les cadres a, b et c de la figure 8 représentent la diversité de populations des types I, II et IV respectivement.

Au cœur de la région correspondant à l'encart b de la figure 8, une population polymorphe exceptionnelle a été repérée et étudiée très en détail, comme le montre la cartographie qui en a été faite (figure 9). A la diversité des habitats offerts par le milieu correspond, et de façon très précise, une diversité dans les types de *Panicum* observés :

- le type A et *P. infestum* apparaissent comme des formes de lumière, disposées à proximité des bordures de chemins,
- le type B est presque toujours situé à l'ombre, ou au voisinage d'arbustes ou de fourrés denses,
- le type C est très précisément localisé à l'extrême bord des chemins et routes, dans une zone constamment piétinée et coupée lors des passages d'animaux et des hommes (entretien des routes).

Cette population est située dans une zone de passage intense. La diversité écologique du paysage rend possible un maintien des types morphologiques très distincts produits par l'hybridation entre les deux espèces en présence, *Panicum maximum* et *Panicum infestum*.

Une autre population intéressante se trouve au cœur de la région correspondant à l'encart c de la figure 8. C'est la population dont le clone diploïde et sexué K189 est issu. Deux constatations importantes doivent être faites à propos de ce matériel :

- les caractéristiques morphologiques du K189 n'en font pas une plante originale dans le groupe, alors que ses caractéristiques biologiques — diploidie et sexualité — sont exceptionnelles, toutes les plantes l'entourant étant des tétraploïdes apomictiques,
- la diversité morphologique des plantes de cette région est intermédiaire entre celles qui ont été observées dans les régions I et II. La présence de la sexualité au niveau diploïde ne se traduit pas par un éclatement intempestif de la variabilité, mais plutôt par un élargissement de celle-ci, selon un mode continu, pour constituer un ensemble de grandes plantes dont les phénotypes sont assez analogues.

TABLEAU 6

Esquisse de classification des plantes en collection sur le Centre ORSTOM d'Adiopodoumé. (d'après PERNES et al. 1975b)

A. LES FORMES NAINES

- A. 1. Glumes pileuses (formes trichoglumes): 280, G61, G45, G74 notamment.
- A. 2. Glumes glabres: 92 par exemple.

Formes fines, rendements modestes, mais de bonnes qualités nutritives

B. LES FORMES A HAUT RENDEMENT (MATIERE VERTE)

1. Formes courtes à moyennes, à limbe charnu bleu vert, souvent duveteux: K211, K220, K160, K196, K212, K85, T11.
2. Formes de taille moyenne, feuilles longues et minces, nombreuses talles:
 - type Common Guinea: 267, 89, 98, G95, 50, 51. C'est le type I de Côte d'Ivoire (voir p.),
 - type plus fin et plus riche en talles: K143, K139, 77, K110.
 - type moins remontant, mais plus productif: G17, G18, 98.
 - type intermédiaire entre les deux précédents (hybride ?): 55, 110, G97, 90, 94, G21.
3. Formes très grandes, à feuilles larges, vert jaune, gaines pileuses: type II de Côte d'Ivoire (voir p. 7), 56, 40, 34, 36, 3, 4, 52, 163, 165, 174, des plantes bien représentées dans tous les pays du Golfe de Guinée.
4. Formes très grandes, à feuilles larges, bleutées, pruneuses et glabres:
 - type non sensible à la cercosporiose (type Borinquen?): 304, 309, G23, 79, K184, G11, G36, G38. Le type Coloniao est assez proche du 304.
 - type sensible (type Gramalote?): G3, 57, 58, 133, G89, G16, G40, G93, G75, G86, G85, G88.
5. Formes grandes, feuilles vertes ou vert-jaune:
 - type non sensible à la cercosporiose: type Sotuba, 268, 63, 17, T3.
 - type sensible (Gramalote?): 353, 354, 90, 94, 101, 102, 104, 105, 106, 117, 172, G21, G30, G76, G60.
6. Formes les plus vigoureuses, feuilles très larges et talles épaisses:
 - formes diploïdes sexuées: T33, T34, T35, T40, T41, T42, T43, T44, T47, T48, T49, T50, T51, T52, T53, T54, K189A, K189B. Il s'agit des diploïdes de Korogwe.
 - formes tétraploïdes: T32, T55, T56, T57, K187A, K187B, T68, T83.

Les phénotypes les plus connus et habituellement cultivés

C. FORMES TRÈS REMONTANTES, NŒUDS NOMBREUX, FEUILLES MINCES

1. Formes diploïdes sexués: T26, T27DB, T27DV.
2. Formes tétraploïdes: T25, T27.

D. HYBRIDES INTERSPÉCIFIQUES ET ESPÈCES AUTRES QUE *P. maximum*

1. *Panicum infestum* et dérivés (types C):

- type *P. infestum*: K83, K195, T14A, T14B.
- types C (hybrides interspécifiques supposés): K77, K79, KK20, T109, T7, T19, T2, T4, T9, T17, T18, T21, T77, C1.
- types *maximum* introgressés d'une partie des génomes des types C: K75, K76, K20, K27, T1, T12, T102.

2. *Panicum trichocladum* et dérivés:

- types *P. trichocladum*: K138, G24.
- types hybrides: K4, K5.
- types dérivés de ces hybrides: K13, K39, K43, K46.

Les types C sont de bons producteurs grainiers, souvent de bons fourragers. Le groupe *trichocladum* a une bonne aptitude à stolonner.

A cette liste des formes naturelles introduites en collection, il faut ajouter les différentes catégories de plantes nouvelles obtenues expérimentalement:

- a. Néotétraploïdes sexués digéniques, issus du traitement par la colchicine de diploïdes,
- b. Hybrides entre diploïdes,
- c. Hybrides entre néotétraploïdes sexués,
- d. Hybrides entre tétraploïdes sexués et apomictiques de même groupe (plantes B dans la classification présente),
- e. Hybrides entre tétraploïdes sexués et apomictiques de groupes différents (plantes B × plantes D par exemple).

NOTA: Les numéros précédés de K correspondent à des plantes collectées lors de la première prospection (1967), ceux précédés d'un T ou de KK correspondent à des plantes de la deuxième prospection (1969). Les numéros non précédés d'une lettre sont des plantes introduites à partir de stations sous forme d'éclats de souches, ou des plantes collectées en Côte d'Ivoire également sous cette forme; les numéros précédés d'un G correspondent à des introductions sous forme de graines.

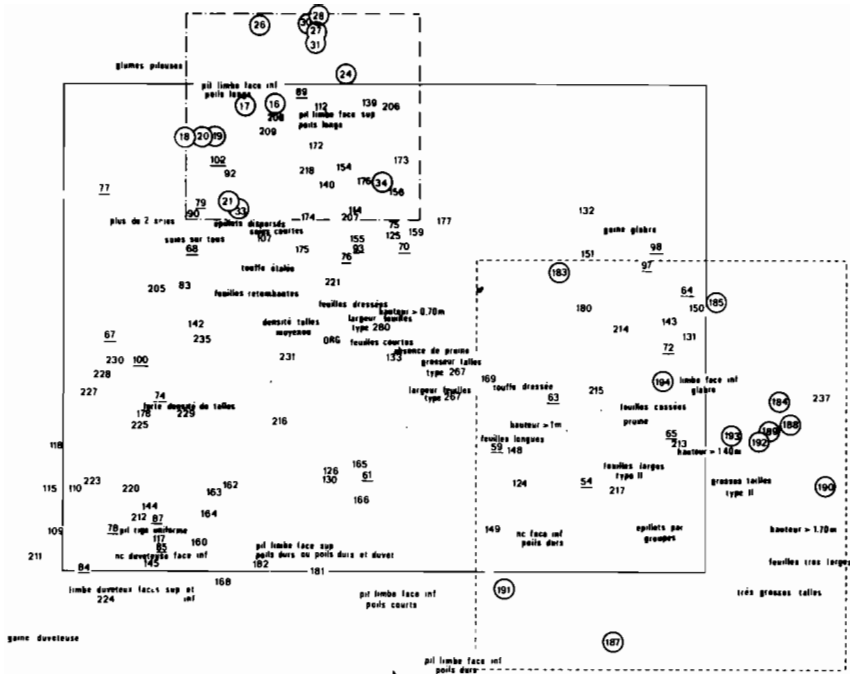


Figure 8 : Dans l'analyse des correspondances réalisée sur les clones de la première prospection, sont reportés :
 a. - - - - les populations de Maratal. On voit que cette aire est très restreinte,
 b. ——— les populations de la zone de Meru-Embu. Cette région recouvre presque l'ensemble de la variabilité obtenue dans toute la prospection. Le n° 83 correspondant au *Panicum infestum*,
 c. les populations de Korogwe. L'aire couverte est de taille intermédiaire, et la dispersion n'est pas structurée en groupes distincts.

2. Modèles de génétique des populations

L'optimisation de l'amélioration génétique, par un choix des stratégies les mieux adaptées, n'est vraiment possible que si l'on a bien compris les mécanismes fonctionnels du complexe d'espèces étudié. Dans le cas des *Panicum*, il s'agit surtout de percer à jour les liens qui existent entre les différentes structures de populations observées et la mécanique biologique de la sexualité et de l'apomixie. Les résultats théoriques de modèles de génétique des populations, conçus spécifiquement, constituent un apport essentiel dans cette voie. Sans entrer dans les détails (voir PERNES 1971), ces modèles ont démontré principalement que :

- au niveau tétraploïde, un polymorphisme génétique de plantes sexuées et apomictiques ne peut être stable, l'apomixie éliminant rapidement la sexualité (voir démonstration, Tome II.),
- la présence transitoire de la sexualité (récemment disparue ou à récurrence faible) donne aux populations concernées un polymorphisme génétique d'ensemble d'un aspect très analogue à celui qui est attendu chez les populations de plantes allogames.

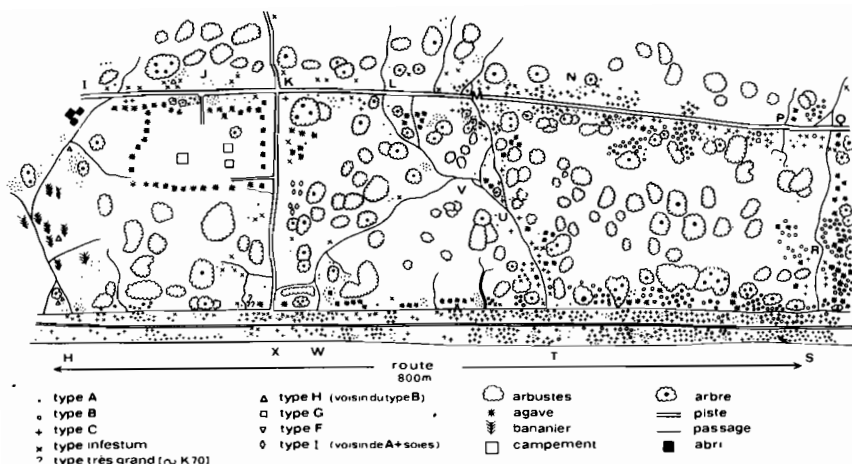


Figure 9 : Relevé de la population polymorphe de M'GWAKAETHE. (PERNES, 1972).

On remarque nettement la prédominance des phénotypes C, A et *infestum* au bord des chemins et des routes. Les phénotypes E sont situés plus à l'intérieur de la population et près des arbres. L'ensemble des *Panicum* n'est présent qu'en lisière.

Les conclusions des analyses de populations tendaient à prédire que des échanges géniques devaient avoir lieu régulièrement entre les diploïdes sexués et les tétraploïdes apomictiques, les populations apomictiques de la zone IV témoignent de ce type d'échange par la nature de leur polymorphisme.

Elles permettaient d'expliquer la rareté des tétraploïdes sexués dans les populations naturelles, non pas comme le résultat d'une impossibilité fonctionnelle à ce niveau de ploïdie, mais par le simple jeu de son élimination évolutive par l'apomixie. De même, puisque des diploïdes sexués existent, il doit y avoir une certaine protection de cette sexualité au niveau diploïde : ou bien les génotypes apomictiques ne peuvent pas s'exprimer à ce niveau de ploïdie, ou bien, s'ils le peuvent, un désavantage sélectif important leur est pléiotropiquement associé.

Les analyses cytogénétiques exposées maintenant vont mettre en évidence quelques uns des mécanismes biologiques en cause.

C. CYTOGENETIQUE

1. Variation des nombres chromosomiques dans les populations naturelles.

a. les populations naturelles de Côte d'Ivoire

Les échantillons collectés en Côte d'Ivoire sont dans leur grande majorité des tétraploïdes ($2n=32$). Quelques rares populations monomorphes à 40 (pentaploïdes) ou 48 (hexaploïdes) chromosomes ont également été

échantillonnées. Les populations pentaploïdes étant situées à proximité de plantes tétraploïdes et hexaploïdes, on peut leur supposer une origine hybride récente.

b. les populations naturelles d'Afrique de l'Est

Les quatre types de populations décrits dans la figure 5 sont constitués, pour leur quasi totalité, de plantes tétraploïdes. Les deux exceptions, les zones de Korogwe et de Bagamoyo, sont celles où des diploïdes ont été collectées. Ces plantes diploïdes sont entièrement sexuées et s'opposent donc à tous les autres représentants des espèces du complexe, qui sont apomictiques.

2. Variation des nombres chromosomiques dans les descendance

a. Les descendance d'apomictiques naturels

L'apomixie du *Panicum maximum* est généralement de nature facultative (voir introduction). Ceci se traduit, dans les descendance, par un certain nombre de plantes hors-types, dont le pourcentage est variable, mais toujours assez faible (tableau 7).

Sur le type Common Guinea commun dans le Sud de la Côte d'Ivoire, le numéro 267 de la collection, 22 hors-types ont été observés dans une descendance de 551 individus. 16 sont des tétraploïdes ($2n=32$) et 6 des hexaploïdes ($2n=48$). Ces derniers proviennent de la fécondation d'une oosphère non réduite d'origine aposporique. Ces hors-types hexaploïdes se retrouvent, avec des fréquences diverses, dans la plupart des descendance d'apomictiques naturels.

La descendance d'un hexaploïde naturel a montré, de la même façon, une majorité de hors-types de même niveau de ploïdie (des hexaploïdes d'origine $n+n=3x+3x$), quelques nonaploïdes ($2n+n$) et quelques rares triploïdes ($n+0$).

TABLEAU 7

Taux de hors-types observés sur une série de trois clones analogues par WARMKE et COMBES.

moyenne sur 3 clones	nb plantes	nb hors-types (HT)	HT %
WARMKE (1954)	3574	107	2,99
COMBES (1972)	2100	59	2,81

TABLEAU 8

Nombres chromosomiques des descendants d'hybridation chez *Panicum maximum* (d'après SAVIDAN 1981a).

° plantes sexuées, ∞ plantes apomictiques, * aneuploïdes. Au niveau tétraploïde, les modes de reproduction ségrégent.

parents		descendance					
femelle	mâle	2n=16	2n=24	2n=32	2n=48	2n=64	total
2x°	2x°	211° +1∞*	3	1	-	-	216
2x°	4x∞	-	5°	7	-	-	12
4x°	4x∞	2°	-	255 +26*	45∞	5∞	333

b. le cas du T19

Le clone T19 est un type morphologiquement intermédiaire entre *Panicum maximum* et *P. infestum*, issu d'un ensemble de populations très polymorphes situées entre Dar es Salaam et Bagamoyo, en Tanzanie. Cette plante présente un taux de sexualité très élevé, puisque 67% des ovules observés ne présentent qu'un sac embryonnaire, du type sexué à 8 noyaux. Dans les descendance, le taux de hors-types est également important. En sélectionnant parmi ceux-ci, une plante présentant 75% de sacs sexués uniques a été isolée; elle produit environ 50% de hors-types dans ses descendance, dont de nombreux dihaploïdes à 2n=16 chromosomes. Cette plante exceptionnelle a pu être utilisée comme parent femelle, pour la réalisation de croisements de type apomictique x sexué ou apomictique x apomictique. L'haploïdisation est un phénomène qui a été observé dans toutes ces descendance, avec un taux pouvant dépasser les 10% (dans des croisements apomictique x sexué). Au cours des études réalisées sur ce matériel, 70 dihaploïdes de ce type ont été peu à peu accumulés.

c. les descendance hybrides

Les différentes observations faites, concernant les nombres chromosomiques, sur les descendance obtenues entre 1971 et 1980, se trouvent résumées dans le tableau 8. Les descendance rapportées dans la troisième ligne ne concernent que les hybridations réalisées en 1974, qui utilisaient comme parents mâles des apomictiques de tous les groupes de la classification (voir tableau 6).

Comme dans les descendance de l'apomictique T19, une haploïdisation est observée. Mais les deux plantes obtenues, contrairement aux dihaploïdes évoqués plus haut, sont à la fois sexuées et fertiles. Plus étonnante peut paraître l'observation d'une polyploïdisation, conduisant aux types à 48 (2n+n ou n+2n) et 64 (2n+2n) chromosomes. La sexualité des

plantes utilisées comme parents femelles dans ces hybridations ne peut toutefois être remise en doute. Ces plantes ne présentent que des sacs du type sexué à 8 noyaux. Par ailleurs, ces mêmes plantes, utilisées dans d'autres hybridations avec des apomictiques de leur groupe (le groupe B de la classification présentée tableau 6), n'ont donné que des descendants tétraploïdes. Il semble bien que la polypléidisation observée ici, résulte d'un choix particulier des parents, soit un moyen — commun chez les plantes sexuées — d'échapper à une stérilité due à la distance génétique.

La polypléidisation et l'haploïdisation mises en évidence montrent que des échanges géniques sont possibles entre niveaux de pléidie différents, dans le sens ascendant comme dans le sens descendant (voir plus bas «organisation et évolution du complexe»). Ces mécanismes ont permis la réalisation, au sein du complexe, d'une série polypléide dynamique à base huit, comprenant des plantes 2x, 3x, 4x, 5x, 6x, et 8x, comme schématisé dans la figure 10.

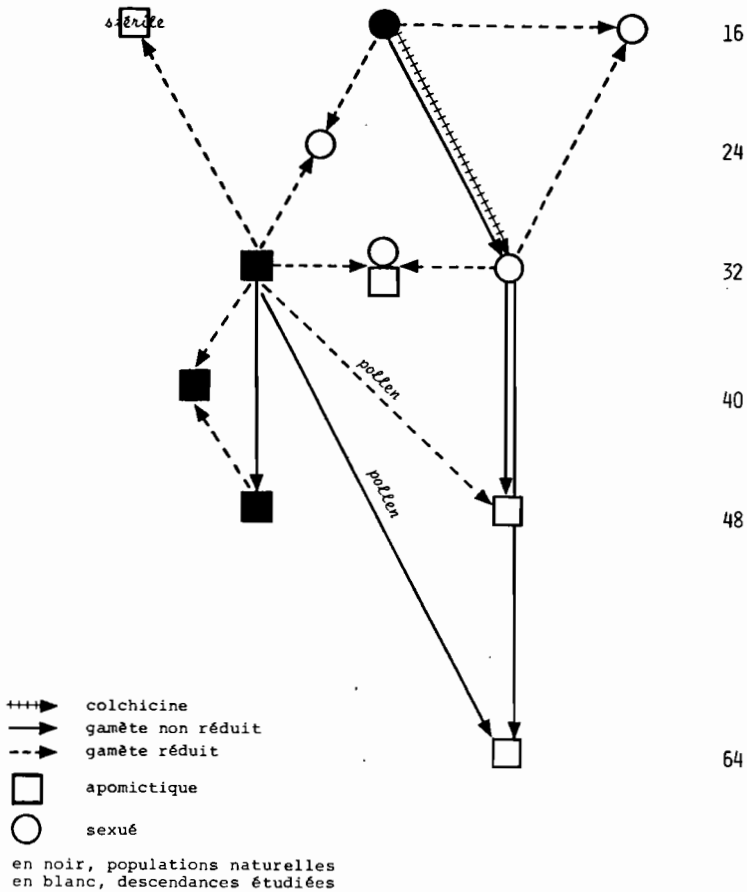


Figure 10: série polypléide réalisée dans le complexe des *Panicum*. (modifié d'après COMBES et PERNES 1970).



Semis de *Panicum* clone K 211



2 formes de *Panicum* en mélange :
à Gauche : *P. maximum* var.
à Droite : *P. maximum* forme coloniao

D. LES MODES DE REPRODUCTION

1. l'apomixie du *Panicum*

Des types d'apomixie très divers peuvent être réalisés chez les végétaux supérieurs (STEBBINS 1950). L'apomixie du *Panicum* est une aposporie — le sac embryonnaire provient d'une cellule somatique non réduite — suivie d'une parthénogénèse, l'embryon se développant à partir de l'oosphère sans fécondation.

Chez les *Panicum* que nous avons étudiés, comme chez les autres espèces de la sous-famille des Panicoidées présentant des formes apomictiques, l'aposporie conduit à un sac embryonnaire d'un type caractéristique. Les sacs aposporiques non réduits ont en effet quatre noyaux: une oosphère, deux synergides et un unique noyau polaire. Les sacs réduits, issus de sexualité, ont le type classique à huit noyaux, avec deux noyaux polaires, et généralement redivision des antipodes comme cela est observé chez la plupart des graminées. La structure aposporique à 4 noyaux a été décrite pour la première fois dans le genre *Pennisetum* (NARAYAN 1951), avant d'être observée par WARMKE (1954) chez *Panicum maximum*. Dans cette structure, le noyau polaire est fécondé pour conduire à un albumen $2n+n$. L'intervention du pollen, même chez les formes apomictiques, est donc fondamentale.

Chez les apomictiques naturels, dont l'apomixie est généralement facultative, le taux d'ovules à sac unique sexué, qui conduit — en absence de sélection — aux hors-types des descendance, varie de 0 à 67% (le cas extrême étant celui du T19 déjà signalé). Les hybrides apomictiques, provenant de croisements sexué x apomictique, ont montré une légère tendance à un renforcement du taux d'apomixie: un quart des hybrides analysés sont des apomictiques obligatoires (tableau 9).

Dans les analyses embryologiques réalisées sur des apomictiques naturels ou hybrides, on peut s'interroger sur la valeur des sacs embryonnaires à 8 observés. Leur taux est en effet très généralement supérieur au taux de hors-types dans les descendance. Tous les sacs à 8 sont-ils donc réduits? L'étude du cas précis de la variété Common Guinea, dont le type dans notre collection est le numéro 267, a montré que le taux réduit de hors-types était une résultante de leur faible vigueur en moyenne, et de leur élimination à différents stades du développement.

2. Hérité de l'apomixie

Le traitement par la colchicine de quelques diploïdes sexués a donné des plantes tétraploïdes entièrement sexuées. La sexualité est donc bien fonctionnelle au niveau tétraploïde. On a pu ainsi réaliser des croisements au niveau tétraploïde, les plantes sexuées étant utilisées comme femelles et les plantes apomictiques comme mâles, ceci en profitant de la très forte autostérilité des plantes sexuées et du fait que le pollen des apomictiques est normalement réduit et fécond.

Les premières analyses de ségrégations dans les descendance hybrides F1 ont montré que plantes sexuées et plantes apomictiques ségrégeaient dans un rapport voisin de 1:1 (SAVIDAN 1975). Les descendance obtenues ultérieurement, en autofécondation ou en recroisement, ont

confirmé la nature simple du déterminisme génétique de l'apomixie (SAVIDAN 1980, 1981a, 1981b). Tous les résultats présentés dans le tableau 10 s'accordent avec un modèle monogénique, dans lequel les diploïdes sexués auraient le génotype aa, les tétraploïdes issus du traitement à la colchicine étant aaaa, et tous les apomictiques testés dans nos hybridations étant Aaaa. L'allèle A, qui induit la formation des sacs embryonnaires aposporiques à 4 noyaux, est dominant.

TABLEAU 9

Taux de sexualité observés, au niveau sacs embryonnaires, chez les apomictiques naturels et hybrides de *P. maximum*. (SAVIDAN 1982)

S%	apomictiques naturels	apomictiques hybrides
0 (apomixie obligatoire)	10	21
0 à 5	37	45
5 à 10	17	5
10 à 30	10	6
30 à 50	4	1
sup. à 50	2	3
moyenne	8,1	5,8
mode	4,0	1,3

L'analyse génétique réalisée, qui porte sur la structure des sacs embryonnaires, indique donc une hérédité simple pour le caractère aposporie. Le pourcentage très faible de plantes non tétraploïdes dans les descendance des plantes apomictiques naturelle ou hybrides, montre de plus que le caractère parthénogénèse (développement de l'embryon à partir de l'oosphère sans fécondation), est étroitement lié à l'aposporie. Les analyses de taux de sexualité rapportées plus haut, ont également montré qu'utilisant des géniteurs apomictiques à faible pourcentage de sexualité dans nos hybridations, nous obtenions essentiellement, parmi les hybrides apomictiques, des plantes à faible taux de sexualité. Autrement dit, il semble bien qu'une plante ayant le gène A possède à la fois l'aptitude à faire des sacs à 4 noyaux, l'aptitude à développer ses embryons sans fécondation, l'aptitude à conserver le taux de sexualité de son géniteur apomictique. L'apomixie semble donc s'hériter comme un ensemble coordonné, et de façon très simple.

Les conséquences pratiques de ce résultat sont évidentes: l'apomixie est un caractère facilement utilisable, transférable, à l'intérieur d'un schéma d'amélioration et de sélection (PERNES et al. 1978). D'autres études, réalisées chez les graminées intertropicales et quelques dicotylédones des zones tempérées, montrent également que l'apomixie peut être considérée

— au moins pour sa partie aposporie — comme un caractère à déterminisme génétique très simple, vraisemblablement monogénique pour l'essentiel.

E. ORGANISATION ET ÉVOLUTION DU COMPLEXE

Les différentes observations et les résultats expérimentaux énumérés ci-dessous, permettent de proposer un schéma de ce que pourraient être les principales voies d'évolution à l'intérieur du complexe agamique des *Panicum*. D'autres voies secondaires d'évolution sont possibles au niveau tétraploïde, qui sont liées au pourcentage de sexualité des apomictiques facultatifs (PERNES 1972).

- les diploïdes sexués sont rencontrés dans des populations naturelles qui sont mixtes ($4x$ et $2x$ en mélange), et de type IV : ces populations sont dans des zones où le *Panicum maximum* est la graminée dominante et présente une grande variabilité, avec toutefois une plus grande continuité dans le polymorphisme que dans les groupes de populations polymorphes de type III (Mgwakaethe, Voi ou Dar es Salaam, voir p. 10).

- des croisements $2x$ sexué x $4x$ apomictique sont possibles. Par une étape intermédiaire triploïde (et sexuée) ou directement par pollinisation de gamètes femelles non réduits, ils peuvent donner naissance à des tétraploïdes sexués : sur les sept tétraploïdes obtenus directement et rapportés dans le tableau 8 (p. 27) trois sont sexués. Cette méthode de tétraploïdisation récurrente a également été utilisée avec succès dans le complexe *Bothriochloa-Dichanthium* (HARLAN et al. 1964).

- la sexualité a une durée de vie limitée au niveau tétraploïde, compte-tenu du caractère envahissant de l'apomixie, révélé par les modèles de génétique des populations. Mais elle permet la réalisation d'hybrides et donc un certain brassage de la variabilité figée dans les formes apomictiques.

- des hybridations entre phénotypes très tranchés, tels qu'ils peuvent exister dans des populations de types III ou IV, peuvent être réalisées et conduire à des polyhaploïdes fertiles et sexués.

- certains des apomictiques hybrides présentent un fort taux de sexualité, et parmi leurs hors-types, d'autres dihaploïdes fertiles et sexués peuvent être obtenus. Dans notre matériel hybride trois-voies, la plante la plus sexuée (près de 80% de sacs sexués) a donné deux nouveaux dihaploïdes très vigoureux, dans une descendance de mille plantes.

Des échanges géniques sont donc possibles entre les différents compartiments, sexué-diploïde et apomictiques-tétraploïde, du complexe *Panicum* étudié. Un schéma cyclique peut être envisagé, représenté dans la figure 11, qui suppose une origine ou un renouvellement des diploïdes naturels par haploïdisation (SAVIDAN et PERNES 1982). Les quatre dihaploïdes sexués que nous avons obtenus expérimentalement sont en effet des plantes fertiles et très vigoureuses, d'un phénotype proche des diploïdes naturels, malgré des origines hybrides assez différentes. Leur méiose est régulière, avec 8 bivalents, et ils ne présentent qu'un seul type d'ovule, à sac unique à 8 noyaux.

TABLEAU 10

Résumé des ségrégations observées dans les descendance et comparaison avec les ségrégations attendues dans l'hypothèse d'un modèle monogénique à apomixie dominante (SAVIDAN 1981a, 1981b).

	tot	observé		théorique		
		apo	sex	apo	sex	
1. Hybrides F1: S1 × A1	133	71	62	67	66	NS
2. 3 voies: (S1 × A1) sex × A2	279	135	144	139	140	NS
3. F1sex autofécondé	126	0	126	0	126	NS
4. 3 voies sex autofécondé	57	0	57	0	57	NS
5. BCross: (S1 × A1) sex × A1	26	14	12	13	13	NS
6. BCross: 3 voies sex × A2	170	73	97	85	85	NS
7. Frère-sœur sex × sex	82	0	82	0	82	NS
8. Frère-sœur sex × apo	60	26	34	30	30	NS
9. BCross: S1 × (S1 × A1) apo	23	13	10	12	11	NS
10. Croisements apo × apo	71	53	18	53	18	NS

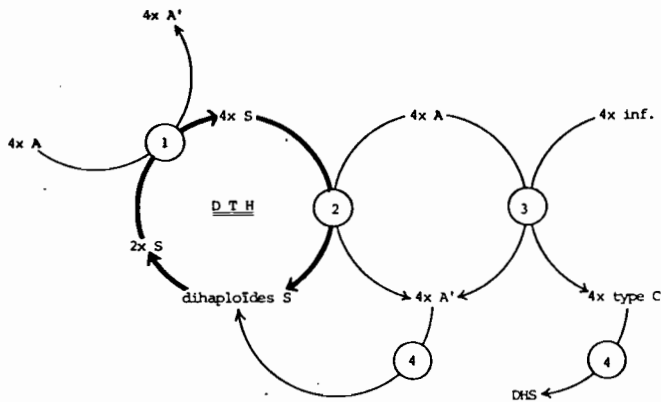


Figure 11

Schéma général d'évolution du complexe des Maximae.

1. hybridations intraspécifiques 2xSEX x 4xAPO
 → apparition de la sexualité au niveau 4x
 → nouveaux 4x apomictiques
 2. hybridations intraspécifiques 4xSEX x 4xAPO
 → nouveaux 4x apomictiques
 dont quelques formes à fort taux de sexualité
 → dihaploïdes sexués
 3. hybridations interspécifiques avec *P. infestum*
 → nouveaux 4x apomictiques
 → types C à fort taux de sexualité
 4. hypersexualité chez quelques hybrides apomictiques
 - a. autotétraploïdes → dihaploïdes sexués
 - b. allotétraploïdes → dihaploïdes stériles (DHS)
- Réalisation d'un cycle sexué diploïde-tétraploïde-dihaploïde (D T H).
 (SAVIDAN et PERNES 1982)

Le rôle de l'haploïdisation et d'éventuels cycles diploïde-tétraploïde-dihaploïde a été contesté par STEBBINS (1971), qui considère que la voie essentielle d'évolution des complexes polyploïdes est seulement ascendante. Mais de WET (1968) a mis en évidence un cycle très semblable à celui que nous venons de décrire, dans le groupe *Bothriochloa-Dichanthium* qu'il étudiait. ASKER, chez *Potentilla argentea*, et NOGLER chez *Ranunculus auricomus* (communic. pers.), deux dicotylédones apomictiques, ont également montré que l'haploïdisation pouvait avoir un rôle évolutif important.

La nature des dihaploïdes est sans doute à rapprocher de la nature des tétraploïdes dont ils sont issus. Les plantes diploïdes sexuées obtenues par cette voie chez *Panicum* sont issues de plantes encore très autotétraploïdes. Chez une plante comme le T19, qui est très vraisemblablement un produit d'hybridation interspécifique entre *Panicum maximum* et *P. infestum*, comme chez ses descendants, le taux de sexualité élevé ne conduit qu'à des dihaploïdes stériles et fort peu vigoureux. Dans le complexe polyploïde étudié ici, l'hybridation interspécifique ne semble pas jouer un rôle évolutif prépondérant.

V. UTILISATION

A. SCHÉMA DE SÉLECTION ET DE CRÉATION DE MATÉRIEL

Dans l'amélioration et la sélection du matériel végétal, l'apomixie joue un rôle simplificateur évident: à chaque génération d'hybridation, un hybride sur deux est apomictique, et donc indéfiniment fixé. Il est très facilement multipliable et vulgarisable en un temps très court, dès lors qu'il a été remarqué pour ses caractéristiques agronomiques. Le seul problème véritable semble être le criblage des hybrides dans des essais de comportement multilocaux, donc un problème mineur.

Le schéma d'amélioration proposé pour *Panicum maximum* (PERNES et al. 1975c) est extrêmement simple: partant d'un ensemble restreint de plantes sexuées tétraploïdes, obtenues par traitement par la colchicine de quelques diploïdes naturels, on augmente peu à peu l'ensemble des tétraploïdes sexués, en même temps que s'opère graduellement un brassage de la variabilité apomictique. Des hybrides apomictiques 2, 3 et 4 voies ont d'ores et déjà été réalisés, dont certains ont fait l'objet de tests agronomiques (figure 12).

La multiplication d'un hybride apomictique ne pose pas de problème important. Mais pour l'exploitation, il convient de prendre en considération le problème de l'homogénéité génétique du matériel vulgarisé. La diffusion sur de grandes surfaces d'un clone hybride intéressant fait courir un risque parasitaire important. Les quelques trois millions d'hectares amazoniens recouverts de la seule variété coloniao, qui constituent l'essentiel des fourrages disponibles dans cette région, sont extrêmement vulnérables. Qu'un parasite quelconque se propage, et les bovins de la région n'auront plus qu'à grimper aux arbres pour trouver leur subsistance! Un effort de

recherches doit donc porter sur la conception de variétés composites équilibrées et stables, assurant une hétérogénéité génétique (mais pas phénotypique nécessairement) satisfaisante.

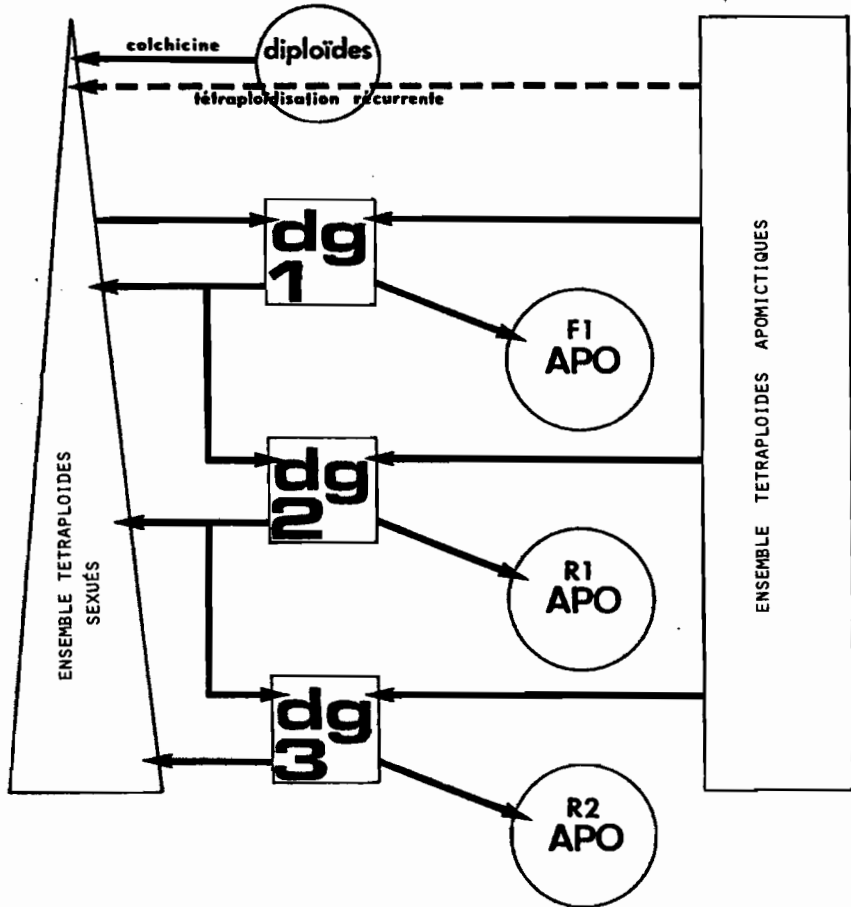


Figure 12: Schéma d'amélioration génétique du *Panicum maximum* réalisé en Côte d'Ivoire. Des apomictiques F₁, R₁ et R₂ ont été obtenus, dont certains sont des apomictiques obligatoires présentant d'excellentes qualités fourragères. dg: abréviation pour diallèle de groupes, ce qui désigne l'ensemble d'hybrides obtenus par combinaison 2 à 2 de parents sexués et apomictiques respectivement. L'ensemble des tétraploïdes sexués est représenté sous forme d'un triangle pour souligner le fait qu'à chaque cycle d'hybridation sexué apomictique, il s'enrichit de nouveaux génotypes tétraploïdes. Cet accroissement est moins sensible pour l'ensemble des apomictiques puisqu'il est dès le départ très abondant. Les hybrides entourés F₁ APO, R₁ APO, R₂ APO désignent des plantes qui peuvent être immédiatement mises à l'épreuve pour apprécier leur potentialité comme variété.

B. CLONES DIRECTEMENT VULGARISABLES A PARTIR DE COLLECTIONS

Dans les différents pays d'utilisation, et faute d'un programme d'introduction d'envergure, ou d'un programme de sélection basé sur des séries d'hybridations entre plantes sexuées et plantes apomictiques, un très petit nombre d'apomictiques naturels ou de hors-types d'apomictiques ont été vulgarisés, avec les risques phytosanitaires que nous venons de souligner. La variabilité collectée par l'ORSTOM peut permettre, dans une première étape, de vulgariser de nouvelles souches, plus intéressantes que celles qui sont actuellement utilisées et d'augmenter la diversité des fourrages cultivés. Ceci suppose d'abord l'installation de collections, copies de celle de Côte d'Ivoire, dans les différents pays intéressés. Et la multiplication, sur place, des clones les mieux adaptés. C'est le premier apport, à court terme, d'un échange de matériel végétal comme celui qui est maintenant prévu avec le Brésil.

C. ESSAIS AGRONOMIQUES

Depuis le début du programme d'évaluation génétique de la variabilité introduite, de petits essais de comportement comparant divers clones introduits ou divers hybrides ont été réalisés périodiquement, directement par le laboratoire de génétique de l'ORSTOM, ou par le Centre de Recherches Zootechniques de Bouaké, intéressé par nos travaux. Dans tous les cas ils sont demeurés très modestes, les installations respectives ne permettant pas d'évaluer autre chose qu'une productivité primaire. La qualité nutritive des fourrages étudiés, que nous mentionnions dans l'introduction, n'a pu être appréciée que très exceptionnellement et pour un nombre réduit de clones apomictiques. Des indications intéressantes n'en ont pas moins été collectées, à la fois sur la productivité fourragère, et sur la productivité grainière, élément clé de la vulgarisation.

Trois types d'essais peuvent être rapidement examinés. Le premier concerne la comparaison d'un clone de *Panicum maximum* (le K187B) avec d'autres espèces fourragères. Le second concerne une comparaison de différents apomictiques naturels de *P. maximum* entre eux. Enfin, le troisième vise à comparer différents apomictiques hybrides.

L'essai de comparaison entre espèces, réalisé au centre de la Côte d'Ivoire, et en conditions de fumure et d'irrigation contrôlées, a montré que la production primaire du *Panicum maximum* était supérieure, quelles que soient les conditions, à celle des autres espèces: *Pennisetum purpureum*, *Brachiaria ruziziensis*, *Melinis minutiflora* et *Stylosanthes guyanensis*.

Les essais visant à comparer les clones de la collection ont été fort nombreux. Dans les premiers, réalisés au début des années 70, le clone K187B, originaire de Nord Tanzanie, s'était avéré un des plus productifs. Vulgarisé en Côte d'Ivoire et hors de ce pays, il était rapidement dépassé par d'autres apomictiques naturels et hybrides. Dans la comparaison des meilleurs hybrides réalisés depuis 1971, c'est le clone Common Guinea 267 qui est utilisé comme témoin (sa production primaire est très légèrement inférieure à celle du K187B). Le tableau 11 montre la productivité de

quelques uns des hybrides testés, dans les mêmes conditions que ce 267 témoin. L'hybride 1A3 mentionné dans le tableau fait partie de la première série d'hybrides, créés en 1971.

Bien qu'il ne soit question ici que de matière sèche totale (ou de production primaire), d'autres caractéristiques morphologiques et agronomiques ont été étudiées dans les essais. Une bonne complémentarité de recherches appliquées a tout de même fait défaut. Mais les analyses qu'il nous a été possible de conduire ont toutes montré le même résultat : quel que soit le caractère étudié, et parce que *Panicum maximum* est une espèce sauvage ou spontanée, une amélioration très sensible peut être observée, quantitative ou qualitative, dès la première génération d'hybridation.

TABLEAU 11

Productions comparées (t MST/ha/an) de quelques hybrides de *Panicum maximum* comparées à celle d'un apomictique naturel : le clone 267. La lettre A indique qu'il s'agit d'un hybride apomictique, la lettre S d'un hybride sexuel. Le premier chiffre (1 ou 2) signale s'il s'agit d'un hybride de 1^{ère} (hybrides F1) ou de 2^{ème} (hybrides trois voies) génération.

clones	Production
2A4	37,6
2A6	33,6
1A35	33,4
1S31	32,9
1S33	32,1
1A48	32,1
1A3	22,4
267	21,8

RÉFÉRENCES PANICUM MAXIMUM

- ALCANTARA V B G , ABRAMIDES P L G , ALCANTARA P B et de ROCHA G L , 1981 Acceptability of tropical forage plants : grasses and legumes. Communication XIVth Int Grassl Congr , Lexington, USA
- COMBES D , 1972 Polymorphisme et modes de reproduction dans la section des *Maximae* du genre *Panicum* (Graminées) en Afrique. Thèse Univ Paris. Mémoires ORSTOM, 77 : 99p (1975)
- COMBES D et PERNES J , 1970 Variations dans les nombres chromosomiques du *Panicum maximum* Jacq en relation avec le mode de reproduction. C R Acad Sci Paris, 270/ : 782-785
- HARLAN J R , BROOKS M H , BORGAONKAR D S et de WET J M J , 1964 Nature and inheritance of apomixis in *Bothriochloa* and *Dichanthium*. Bot Gaz 125 : 41-46

- MOTT G P , 1981 Potential productivity of temperate and tropical grassland systems Proc XIVth Int Grassl Congr (a paraître)
- NARAYAN K N , 1951 Cytogenetic studies of apomixis in *Pennisetum* These Univ Californie
- PERNES J , 1971 Etude du mode de reproduction apomixie facultative, du point de vue de la genetique des populations Travaux et Documents de l'ORSTOM, 14 66p
- PERNES J , 1972 Organisation evolutive d'un groupe agamique la section des *Maximae* du genre *Panicum* (Graminees) These Univ Paris Memoires ORSTOM, 75 107p
- PERNES J et COMBES D , 1970 Incidence des modes de reproduction sur la structure et la differenciation des populations naturelles de *Panicum maximum* Jacq en Côte d'Ivoire Cah ORSTOM, ser Biol , XIV 14-34
- PERNES J , RENE J , RENE-CHAUME R , SAVIDAN Y et SOUCIET J -L , 1975a Problemes poses par la multiplication par graines des *Panicum maximum* Cah ORSTOM, ser Biol , 10 (2) 127-133
- PERNES J , RENE J , RENE-CHAUME R LETENNEUR L , ROBERGE G et MESSENGER J -L , 1975b *Panicum maximum* Jacq et l'intensification fourragere en Côte d'Ivoire Rev Elev med vêt Pays trop , 28 239-264
- PERNES J , RENE-CHAUME R , RENE J et SAVIDAN Y , 1975c Schema d'amelioration genetique des complexes agamiques du type *Panicum* Cah ORSTOM, ser Biol 10 (2) 67-75
- SAVIDAN Y , 1975 Heredite de l'apomixie Contribution a l'etude de l'heredite de l'apomixie sur *Panicum maximum* (analyse des sacs embryonnaires) Cah ORSTOM, ser Biol , 10 (2) 91-95
- SAVIDAN Y , 1978 L'apomixie gametophytique chez les Graminees et son utilisation en amelioration des plantes Ann Amelior Plantes 28 (1) 1-9
- SAVIDAN Y , 1980 Chromosomal and embryological analyses in sexual x apomictic hybrids of *Panicum maximum* Jacq Theor Appl Gent , 57 153-156
- SAVIDAN Y 1981a Nature et heredite de l'apomixie chez *Panicum maximum* Jacq These Univ Paris Travaux et Documents de l'ORSTOM (a paraître)
- SAVIDAN Y 1981b Genetics and utilization of apomixis for the improvement of Guinea grass (*Panicum maximum* Jacq) Proc XIVth Int Grassl Congr (a paraître)
- SAVIDAN Y 1982 Embryological analysis of facultative apomixis in *Panicum maximum* Jacq Crop Science 22(3) 467-469
- SAVIDAN Y et PERNES J , 1982 Diploid-tetraploid-dihaploid cycles and the evolution of *Panicum maximum* Jacq Evolution 36(3) 596-600
- SERRAO E A S , FALESI I C , da VEIGA J B et NETO J F T , 1978 Produtividade de pastagens cultivadas em sols de baixa fertilidade das areas de floresta do tropico umido Brasileiro EMBRAPA Belem - Para, 73p
- SOUCIET J -L , 1978 Contrôle de l'inhibition de la germination chez une espece apomictique, le *Panicum maximum* etude plus particuliere de l'influence du gamete mâle sur la constitution genotypique de l'albumen These 3eme cycle Univ Paris, 109p

- STEBBINS G L , 1950 Variation and evolution in higher plants Columbia Univ Press
- STEBBINS G L , 1971 Chromosomal evolution in higher plants Addison Wesley Publ Co 216 p
- WARMKE H E , 1954 Apomixis in *Panicum maximum* Amer J Bot 41 5-11
- de WET J M J , 1968 Diploid-tetraploid-haploid cycles and the origin of variability in *Dichanthium* agamospecies Evolution 22 394-397

LES CAFÉIERS

1997, 2000, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015, 2018

2000, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015, 2018

2000

I. INTRODUCTION

La diffusion de la culture du caféier s'est appuyée exclusivement sur l'espèce *Coffea arabica* à partir du XVI^{ème} siècle. Ce n'est qu'à la fin du XIX^{ème} et au début du XX^{ème} que l'on a tenté de substituer, dans certains pays, cette espèce par d'autres plus tolérantes aux maladies, tout particulièrement à la rouille. Ces tentatives ont permis, très tôt, de se rendre compte des potentialités agronomiques des différentes espèces de caféiers qui se rencontraient, sous forme spontanée, dans les forêts africaines. C'est finalement l'espèce *C. canephora* qui a été retenue pour les qualités de vigueur et de résistance aux maladies qu'elle présentait. Cette espèce assure maintenant un quart de la production mondiale et a remplacé pratiquement toutes les espèces mises en cultures autres que *C. arabica*.

A. DONNÉES BOTANQUES SUR LES CAFÉIERS (COFFEA ET GENRES AFFINES)

Depuis la description de *Coffea arabica* par LINNÉ en 1753, la conception du genre *Coffea* et des espèces a été l'une des plus mouvementées de l'histoire de la botanique!

Il n'est pas possible de retracer ici cette histoire, mais quelques chiffres donneront une idée de ce que peut être le désarroi des chercheurs amenés à s'occuper de l'amélioration des caféiers et, pour ce faire, à considérer un ensemble naturel.

Près de 200 noms de *Coffea* ont été attribués; une vingtaine d'espèces se sont avérées appartenir à des genres très différents; *C. arabica* a reçu plus de 10 noms d'espèces et quelques 25 de ses variétés ont reçu des noms de binôme. *C. arabica* a été appliqué à 4 autres espèces aujourd'hui reconnues comme bien distinctes! ...

Il faut attendre 1947 pour une révision complète du genre par CHEVALIER. Quelques années avant, en 1941, LEBRUN apportait une conception moderne de ce que pourrait être une systématique des caféiers mais limitée aux seules (7 ou 8?) espèces de l'actuel Zaïre.

Les études sur les caféiers de la région phytogéographique malgache, inaugurées avec la description de *C. mauritiana* par LAMARCK en 1783, ont connu un regain d'activité avec PORTERES et LEROY à partir de 1960.

LEROY (1967 et 1980), a remanié et précisé de façon très importante les conceptions génériques.

C'est sur ces bases que nous présenterons le complexe des « caféiers ».

La *placentation cofféenne* (voir photo dans planche photo), qui se manifeste par le sillon longitudinal) sur la face interne plane de la graine, isole et rapproche entre eux, à l'intérieur de la famille des Rubiacées, les 4 genres: *Coffea*, *Paracoffea*, *Psilanthus* et *Psilanthopsis*.

Cette conception conduit à éliminer *Argocoffea* considéré comme section par CHEVALIER; *Argocoffea* et *Calycosiphonia* proches des caféiers n'ont pas leur placentation.

Signalons que la Flora of West Tropical Africa (2ème édition) (HUTCHINSON et DALZIEL) conserve une attitude bien en retrait puisqu'elle continue à considérer *Paracoffea*, *Argocoffea* et *Calycosiphonia* comme des *Coffea*.

La question n'est pas tant de savoir si on doit conserver 4 genres différents, l'important est de considérer que cet ensemble est homogène (Tableau 12): « ... *Coffea*, *Paracoffea*, *Psilanthus* et *Psilanthopsis*, quatre rameaux fort bien caractérisés, encore très proches de leur commune origine, marquée essentiellement par le *mode singulier de placentation* » (LEROY, 1962).

Les deux derniers genres s'individualisent sur des caractères morphologiques mineurs du fruit (côtes longitudinales) et des pièces florales (calice persistant, bractéoles linéaires et libres entre elles).

A priori, on ne peut savoir si ces genres appartiennent à un même complexe ou si, au contraire, leur différenciation est suffisamment marquée pour empêcher tout échange.

TABLEAU 12

Principales caractéristiques botaniques et répartition géographique des 4 genres de Rubiacées: *Coffea*, *Paracoffea*, *Psilanthus*, *Psilanthopsis*.

Genres	Inflorescences	Fleurs	Involucre	Mode de croissance	Répartition géographique
<i>Coffea</i>	axillaires parfois sub-terminales	isolées ou groupées	présent	monopode	Afrique et Madagascar
<i>Paracoffea</i>	terminales ou axillaires	isolées ou groupées	généralement absent	monopode et sympode	Afrique, Madagascar et Asie
<i>Psilanthus</i>	axillaires	isolées ou par deux	présent	monopode	Afrique
<i>Psilanthopsis</i>	axillaires	isolées ou par deux	présent	monopode	Afrique

LEROY a proposé en 1980 un nouveau groupement des espèces de caféiers dont le « caractère primaire » de classification n'est plus le mode de croissance monopodial ou sympodial mais la structure de la fleur: tube long et étamines incluses (*Psilanthus*) ou tube court avec étamines exertes (*Coffea*).

Le genre *Coffea* regroupe alors:

- les caféiers africains ou *Eucoffea*,
- les caféiers malgaches ou *Mascarocoffea*,

- les *Paracoffea* malgaches,
- le *Psilanthopsis kapakata*.

Le genre *Psilanthus* contient deux sous-genres :

- *Paracoffea*, pour les *Paracoffea* africains et le *Coffea melanocarpa* ;
- *Psilanthus* pour les *Psilanthus* déjà décrits et une nouvelle espèce provenant de Tanzanie.

Un programme d'amélioration bien construit doit donc prendre en compte tous ces genres. Après tout, ce n'est pas la présence d'une épicalice qui est importante pour le consommateur de café ! La placentation cofféenne, ce qui fait le grain de café, est peut-être le seul caractère auquel on puisse se rattacher au départ ?

Rappelons que *Paracoffea humbertii* J.F. Ler peut être consommé à Madagascar, que *P. bengalensis* (Roxb.) J.F. Ler est quelquefois cultivé aux Indes (PURSEGLOVE, 1968), que *Psilanthopsis kapakata* (Hirsch.) A. Chev. produit une boisson appréciée en Angola.

Indiquons les éléments de repère taxonomique suivants :

1. Coffea

a. Sous-genre ou section *Eucoffea*

— Présence de caféine. Afrique

— 20 espèces regroupées en 5 groupes ou sous-sections sur des critères morphologiques (taille, feuilles, inflorescences, fleurs et fruits) et géographiques (Tableau 13).

— Cette classification, pour pratique qu'elle soit, n'en est pas moins artificielle et LEBRUN, d'après des critères plus évolutifs (structure des inflorescences, nombre de pièces florales et port), se trouve amené à regrouper différemment les espèces congolaises (Tableau 14).

La situation dans cet ensemble est bien déconcertante. Le relevé suivant en donnera une idée :

● Erythrocoffea			
— <i>C. canephora</i>	Pierre		8 noms d'espèces 16 variétés
— <i>C. arabica</i>	L.		11 noms d'espèces 25 variétés
— <i>C. congensis</i>	Froehner		6 variétés
● Pachycoffea			
— <i>C. liberica</i>	Bull. ex Hiern		11 noms d'espèces 13 variétés + race, formes
— <i>C. klainii</i>	Pierre		
— <i>C. oyemensis</i>	A. Chev		
● Melanocoffea			
— <i>C. stenophylla</i>	G. Don		3 noms d'espèces
— <i>C. carissoi</i>	A. Chev		
● Nanocoffea			

- *C. brevipes* Hiern 4 noms d'espèces
5 variétés
- *C. humilis* A. Chev
- *C. togoensis* A. Chev
- **Mozambicoffea**
- *C. eugenioides* Moore 5 noms d'espèces
- *C. racemosa* Lour. 5 noms d'espèces
- *C. zanguebariae* Lour. 5 noms d'espèces dont
3 dans des genres autres
que *Coffea*
- *C. schumanniana* Busse, *C. kivuensis* Lebrun
- *C. mufindiensis* Hutch, *C. ligustroides* Moore, *C. salvatrix* Swynn et Phil

b. Sous-genre ou section *Mascarocoffea*

— Absence presque totale de caféine. Madagascar (41 espèces), Comores (1) et Mascareignes (4 de Maurice et 1 commune à Maurice et à la Réunion).

— LEROY n'a remanié que peu le découpage en séries de CHEVALIER dont CHARRIER (1976), en prologue à une étude sur la structure génétique de ce complexe est amené à écrire :

« 1° certaines unités paraissent bien établies,

2° d'autres sont hétérogènes et nécessitent des remaniements. »

La nomenclature des *Mascarocoffea* est claire, peu de synonymie. Deux sous-espèces et quelques variétés et formes ont été décrites.

TABLEAU 13

Sous-sections des *Eucoffea* d'après CHEVALIER (1940).

- | | |
|--------------------------|---|
| I. <i>Erythrocoffea</i> | Arbustes moyens 2 à 7 m
Feuilles ordinairement persistantes, peu coriaces, moyennes
Fruits moyens, rouge brun à maturité, exceptionnellement jaunes
Exocarpe mince, mésocarpe charnu et mou à maturité. |
| II. <i>Pachycoffea</i> | Arbustes ou petits arbres: 4 à 20 m
Feuilles ordinairement persistantes et grandes, coriaces.
Fruits moyens ou gros, rouge brun à maturité ou un peu marbrés de vert brun (exceptionnellement jaunes).
Exocarpe épais, mésocarpe charnu et ferme à maturité. |
| III. <i>Melanocoffea</i> | Arbustes moyens 3 à 5 m
Feuilles subcoriaces, pétiolées, vert mat étroites ou elliptiques oblongues
Fruits noirs à maturité. |
| IV. <i>Nanocoffea</i> | Arbustes nains 0,23 à 2 m
Feuilles persistances, grandes ou moyennes subsessiles
Fruits moyens, rouges à maturité, peu nombreux. |
| V. <i>Mozambicoffea</i> | Arbustes 2 à 12 m
Feuilles caduques, petites (2-12 cm) renfermant des sclerites dans le limbe
Fruits ovoïdes à fèves petites ou très petites. |



2 clones de *P. maximum* diploïdes sexués, originaires de Korogwe



2 inflorescences de l'espèce *Panicum infestum*

2 inflorescences de formes diploïdes de l'espèce *Panicum maximum*



TABLEAU 14

Comparaison entre la classification des *Eucoffea* de CHEVALIER (1947) et celle des espèces du Zaïre de LEBRUN (1941).

Chevalier (1947)		J. LEBRUN (1941) Espèces du Zaïre
<i>Erythrocoffea</i>	<i>C. canephora</i>	<i>Robustæ</i>
	<i>C. arabica</i>	<i>Abyssinicæ</i>
	<i>C. congensis</i>	
<i>Pachycoffea</i>	<i>C. liberica</i>	<i>Libericæ</i>
	<i>C. klainii</i>	
	<i>C. oyemensis</i>	
<i>Melanocoffea</i>	<i>C. stenophylla</i>	
	<i>C. carissoi</i>	
	<i>C. mayombensis</i>	
<i>Nanocoffea</i>	<i>C. humilis</i>	
	<i>C. brevipes</i>	
	<i>C. togoensis</i>	
	<i>C. schumanniana</i>	
	<i>C. eugenioïdes</i>	
	<i>C. kivuensis</i>	
	<i>C. mufidiensis</i>	
<i>Mozambicoffea</i>	<i>C. zanguebariae</i>	
	<i>C. racemosa</i>	
	<i>C. ligustroïdes</i>	
	<i>C. salvatrix</i>	

2. Paracoffea

Ce genre, récemment établi (LEROY, 1967) à partir d'une sub-division plus que centenaire de MIQUEL en 1856 du genre *Coffea*, a 4 sous-genres :

a - *Paracoffea* 11 espèces d'Asie, Indonésie et pacifique

b - *Insulanoparacoffea* 6 espèces de madagascar

c - *Afroparacoffea* 2 espèces d'Afrique

d - *Melanoparacoffea* 1 espèce d'Afrique

3. Psilanthus

34 espèces africaines dont une seule, *P. mannii* A. Chev., est, sinon bien connue, au moins abondante.

4. Psilanthopsis

Le genre a été créé en 1939 par CHEVALIER pour une espèce d'Angola, *Coffea kapakata* décrite par HIRSCHFELDT en 1930. Les caractéristiques morphologiques et la facilité d'obtenir des hybrides avec quelques es-

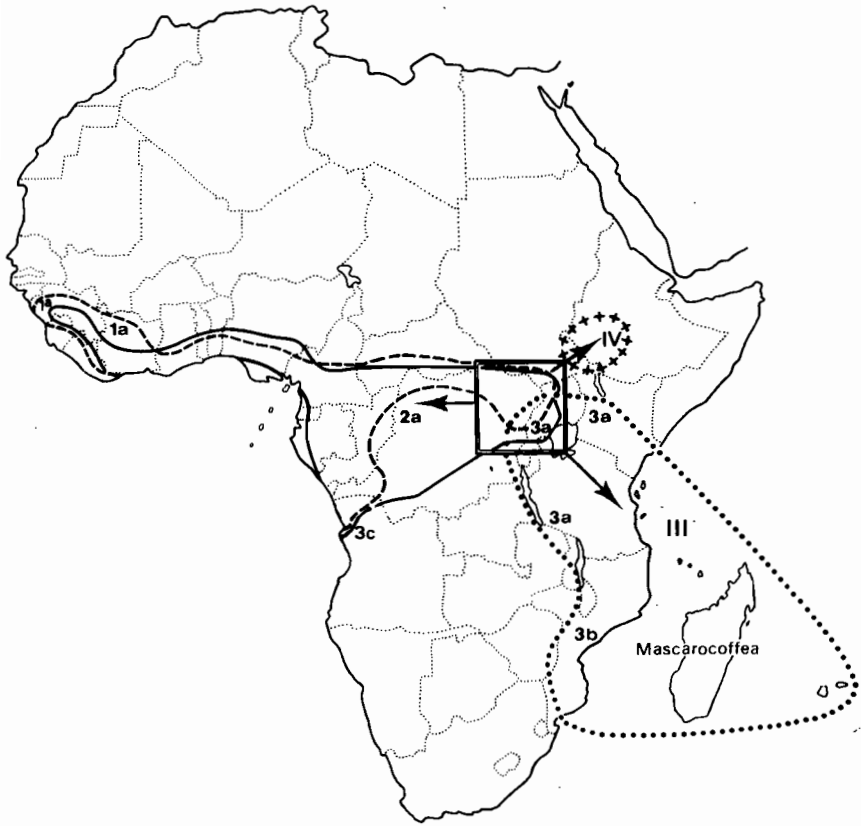


Figure 14: Distribution géographique des groupes de *Coffea* (CHARRIER, 1976)

- I *liberio-excelsoïdes* (1a=*C. stenophylla*)
- II *Canephoroides* (2a=*C. congensis*)
- III *Mozambicoffea* (3a=*C. eugenioides*; 3b=*C. racemosa*; 3c=*C. kapakata*) *Mascarocoffea*
- +++++ IV *C. arabica*

□ Centre de dispersion des *Coffea*

pèces du genre *Coffea* le font maintenir par CARVALHO et MONACO (1959), MONACO et MEDINA (1965) dans le genre *Coffea*, tout particulièrement dans la section *Mozambicoffea*. Ce que confirmerait la morphologie des chromosomes somatiques de cette espèce, très semblables à ceux de *C. racemosa* et *C. ligustroïdes* (BOUHARMONT, 1963). Mais en 1968, les mêmes auteurs, CARVALHO et MONACO, le relie aux *Erythrocoffea*.

Nous conservons ici le genre *Psilanthopsis* pour suivre le découpage générique de LEROY. Ce qui est important à noter, c'est que l'espèce appartient indéniablement au « complexe multispécifique des caféiers ».

Voici le bilan résumé des connaissances taxonomiques et systématiques qui peut être établi au début du programme d'amélioration du caféier.

Il n'est pas complet; nous n'avons pas cité, par exemple, l'approche intéressante de PORTERES avec ses ensembles *liberio-excelsoides* et *canephoroides*, ou les hésitations de CHEVALIER quant à la place de *C. eugenioïdes* entre son groupe des *Mozambicoffea* ou celui des *Erythrocoffea*.

En guise de conclusion, on formulera quelques constatations:

- le complexe morphologique des caféiers (présence de grains de café) comprend 4 taxons de rang générique aux relations mal définies,
- les espèces cultivées en grand ou localement sont connues sous de multiples noms. C'est le cas de *C. arabica* et *C. canephora*, mais aussi de *C. liberica*, *C. congensis*, *C. eugenioïdes*, *C. stenophylla*, *C. zanguebariæ* et *C. racemosa* qui furent ou sont encore cultivés plus ou moins occasionnellement,
- il se trouve que certaines de ces espèces ont une très grande aire de répartition: *C. canephora*, *C. liberica*, à un moindre degré *C. zanguebariæ* et *C. racemosa* (Figure 14).
- les espèces botaniques telles qu'elles ont été présentées ci-dessus n'ont certainement pas la même valeur. Et, sans préjuger des résultats de CHARRIER (1976) exposés plus loin, il paraît évident que les espèces malgaches, souvent représentées par un seul échantillon provenant d'une seule station, n'ont pas la même signification que la majorité des espèces africaines,
- c'est seulement à partir d'études génétiques réalisées sur du matériel installé en collection qu'il sera possible de savoir si tous ces taxons appartiennent à un même « complexe » ou si, au contraire, il y a des limites aux échanges (voir le cas de *Psilanthopsis*).

B. LE COMPLEXE MULTISPÉCIFIQUE DES CAFÉIERS

Nous avons vu, au paragraphe précédent, le grand nombre d'espèces de caféiers qu'il est possible de reconnaître, ceci étant dû à la grande diversité morphologique qui existe dans le genre *Coffea*. Cette étude botanique, si elle cerne le problème des limites du genre, ne nous renseigne que très peu sur les relations entre les espèces. C'est par des études génétiques sur les plantes en collection qu'il est possible de comprendre l'organisation du complexe d'espèces des caféiers.

Sans anticiper sur les résultats de l'évaluation qui fait l'objet du Chapitre IV, nous voudrions présenter ici les principaux points de l'organisation de ce complexe:

Niveau de ploïdie

Le nombre de chromosomes de base chez les caféiers est $x = 11$. L'espèce *C. arabica* est tétraploïde ($2n = 4x = 44$), tandis que toutes les autres espèces, tant chez les *Eucoffea* que chez les *Mascarocoffea* (LOUARN, 1972) sont diploïdes ($2n = 2x = 22$).

Régime de reproduction

L'espèce *C. arabica* est autogame, avec toutefois un taux d'allogamie voisin de 10% (KRUG et CARVALHO, 1951), tandis que toutes les espèces diploïdes sont allogames.

L'espèce *C. arabica* occupe donc une place à part tant par son régime de reproduction que par son niveau de ploïdie. Un des problèmes à résoudre au cours de l'évaluation du matériel en collection sera l'origine de cette espèce: s'agit-il d'un hybride entre deux espèces existant encore (ayant subi par la suite un doublement du nombre de chromosomes) ou, au contraire, n'y a-t-il qu'une espèce diploïde à l'origine de ce type de plante?

Les échanges génétiques

Les travaux de l'équipe brésilienne, récapitulés dans l'article de CARVALHO et MONACO (1968), montrent qu'il est possible d'obtenir des hybrides entre de nombreuses espèces de caféiers africains. Le critère de réussite utilisé est le nombre de plantes hybrides obtenues pour 100 fleurs.

On peut dégager de ces travaux les conclusions suivantes: les croisements entre caféiers appartenant à des sous-sections différentes peuvent fort bien aboutir à l'obtention d'hybrides, tel est le cas pour les croisements entre *C. dewevrei* (*Pachycoffea*) et *C. stenophylla* (*Melanocoffea*). D'autre part, l'espèce *Psilanthopsis kapakata* peut être très bien considérée comme appartenant au complexe d'espèce des *Coffea*, malgré toutes les différences morphologiques qui avaient conduit CHEVALIER à la classer dans un genre différent.

CHARRIER (1976), à partir des travaux à Madagascar, est amené à une conclusion similaire (Figure 15). Beaucoup de croisements interspécifiques conduisent à l'obtention d'hybrides: les croisements sont mêmes possibles entre des espèces appartenant aux deux sections *Eucoffea* et *Mascaro-coffea*.

On voit donc que, s'il existe des compartiments représentant des degrés d'isolement génétique entre groupes dans le complexe d'espèces des caféiers, ceux-ci ne suivent que très peu le découpage en taxons, sous-sections, sections, réalisé par les botanistes.

Au vu de ces résultats et d'arguments cytologiques que nous développons au Chapitre IV, il est possible de considérer que toutes les espèces diploïdes appartiennent à des génomes assez voisins.

C. LA MISE EN CULTURE DES CAFÉIERS

L'espèce *C. arabica*, originaire d'Ethiopie, a été mise en culture depuis très longtemps dans ce pays et certainement avant la découverte de l'utilisation comme café-boisson, puisque feuilles et fruits y sont consommés de diverses façons (LEMORDANT, 1971). La dispersion de cette espèce et sa mise en culture dans différentes parties du monde remonte au XVIIIème siècle (WELLMAN, 1961). Elle s'est faite à partir de quelques graines seulement. Ce matériel végétal a donc une base génétique très limitée.

L'utilisation de *C. canephora* est plus récente puisqu'elle a commencé au début du XXème siècle. L'aire de répartition de cette espèce est très vaste;

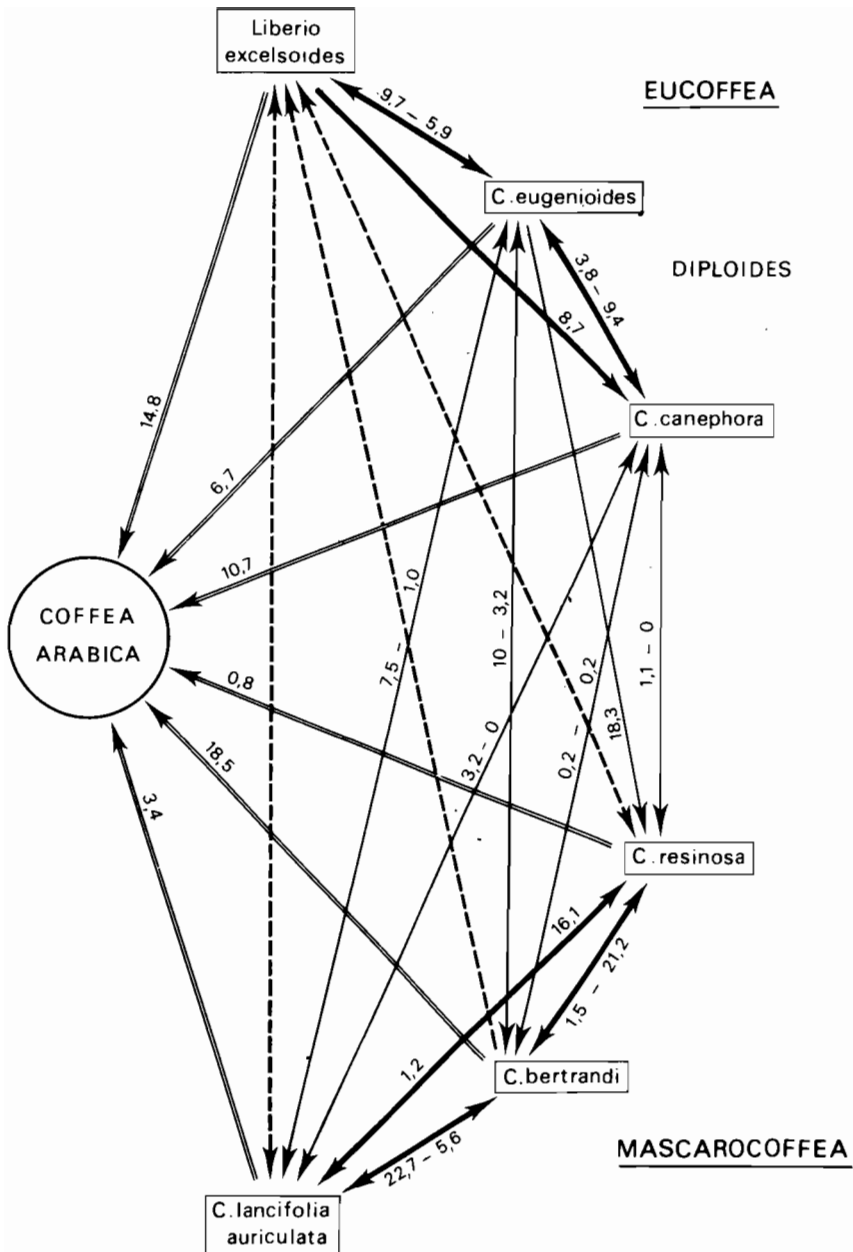


Figure 15: Réussite des croisements entre les différents groupes de *Coffea* (exprimée en hybrides pour 100 fleurs). CHARRIER (1976). La mention de 2 chiffres indique des différences en fonction des sens de croisements. Les valeurs sont situées près des parents femelles correspondants.

aussi les plantations dans de nombreux pays ont-elles été installées à partir du matériel végétal trouvé localement dans des populations spontanées en forêt. D'autres plantations ont été établies à partir des graines prélevées dans une petite population de caféiers au Zaïre et diffusées par LINDEN sous le nom de *Coffea robusta* (PURSEGLOVE, 1968).

Le matériel actuellement existant en plantation dans des pays comme la Côte d'Ivoire vient d'un brassage entre formes locales et formes introduites : la variabilité morphologique peut être très forte tandis que la variabilité génétique pour certains caractères peut aussi être faible du fait de la pauvreté génétique du matériel introduit.

La mise en culture d'autres espèces a aussi été tentée. Il s'agit tout particulièrement de *C. liberica* en Centrafrique et Côte d'Ivoire, mais l'épidémie de trachéomycose des années 1930-1950 a pratiquement fait disparaître cette espèce des plantations. Il nous a été rapporté que certaines missions sur les rives de l'Oubangui en Centrafrique avaient créé de petites plantations de *C. congensis*. Cette espèce a aussi fait l'objet de cueillettes dans des populations spontanées.

PURSEGLOVE (op. cit.) rapporte que *C. eugenioïdes* et *C. zanguebariæ* ont été occasionnellement cultivés. Le *C. humilis* a fait l'objet d'une mise en culture expérimentale en Côte d'Ivoire (PORTERES, 1937). Certains *C. stenophylla* peuvent être consommés.

Après tous ces essais de mise en culture, seules les espèces *C. canephora* et *C. arabica* se sont révélées intéressantes agronomiquement. Aussi, dans les collections actuelles, ne rencontre-t-on presque plus que des variétés de ces deux espèces, les représentants d'autres espèces étant conservés souvent à titre de curiosité. Toutefois, toutes ces espèces peuvent encore être prospectées et du matériel récolté dans les populations spontanées dans les forêts non encore exploitées.

D. LE TRAVAIL DE SÉLECTION

Pour les caféiers, l'essor des travaux de sélection date du début du siècle. Ils sont donc au moins aussi anciens que la mise en culture du *C. canephora*. Ces travaux portaient sur deux aspects : l'amélioration à l'intérieur de chaque espèce de caféiers, mais également le tri des espèces les plus prometteuses pour la mise en culture. Après la période d'essai de nombreuses espèces (*C. stenophylla*, *C. humilis*...), le choix a porté, outre *C. arabica*, sur les espèces *C. canephora* et *C. liberica*.

1. Le choix des critères de sélection

Les deux points ayant retenu l'attention des sélectionneurs sont la qualité du produit obtenu et la capacité de production des arbres. Ces deux critères n'ont pas toujours été utilisés simultanément. En effet, si tous les producteurs de *C. arabica* semblent intéressés par la qualité du produit obtenu, avec l'espèce *C. canephora*, la préoccupation première est la capacité de production des arbres. Le *C. canephora* étant une espèce à croissance vigoureuse peu attaquée par les différents parasites végétaux

et animaux, le tri des arbres intéressants s'est fait essentiellement sur le poids des récoltes obtenues.

L'espèce *C. arabica* est beaucoup plus sensible aux différents aléas et la régularité de production, qui est un critère aussi important que la production elle-même, ne peut être assurée que par l'introduction de résistances génétiques : c'est le cas de la résistance à la rouille, à l'antracnose...

La teneur en caféine des graines de caféiers intervient depuis peu comme critère de sélection.

Ces critères de sélection permettent de définir l'arbre idéal, réunissant les qualités nécessaires pour une mise en culture économiquement satisfaisante. Les limites de cette approche tiennent au fait qu'il faut très souvent réintroduire de nouveaux critères, les arbres idéaux de la génération précédente devenant rapidement inintéressants. C'est le cas d'hybrides de *C. arabica* obtenus suite à un programme d'introduction de la résistance à la rouille, à Lyamungu (Tanzanie). Entre-temps, une maladie avait pris une importance économique considérable, l'antracnose des baies, et les arbres sélectionnés pour leur résistance à la rouille n'avaient aucune résistance à l'antracnose ; ils avaient perdu beaucoup de leur intérêt.

Rappelons également que l'épidémie de trachéomycose a conduit à l'abandon de l'espèce *C. liberica* dans les plantations industrielles.

Ces critères de sélection peuvent être appliqués simplement à la fin d'un programme de croisements destiné à cumuler différentes qualités. Ils peuvent aussi faire l'objet d'études génétiques visant à déterminer leurs possibilités de transmission. Pour cela, il convient de s'intéresser aux méthodes de sélection.

2. Le choix des méthodes de sélection

Les méthodes de sélection sont différentes selon que l'on s'adresse à des plantes autogames (c'est le cas de *C. arabica*) ou à des plantes allogames (*C. canephora*). Le choix d'une méthode dépend aussi des possibilités de multiplication végétative. En général, en arboriculture, l'objectif recherché est une plantation homogène permettant des récoltes groupées. Cette homogénéité est facilement obtenue par clonage. Encore faut-il que les techniques de multiplication végétative soient disponibles. C'est le cas chez les caféiers, où les boutures de *C. canephora* sont obtenues à grande échelle et où le greffage pourrait servir à la mise en place de clones de *C. arabica*. Grâce à ces techniques de multiplication végétative, il suffit d'obtenir quelques arbres remarquables pour les transformer en variétés intéressantes. La sélection peut donc être très sévère. Les problèmes liés à l'homogénéité des parcelles et au petit nombre de clones utilisés pour l'installation des parcelles de culture ne seront pas discutés dans ce cadre.

Pour le *C. arabica*, les premiers travaux de sélection étaient basés sur l'analyse de lignées autofécondées pendant plusieurs générations. Il s'agissait d'une sélection de type généalogique permettant la diffusion de graines. Cette technique n'a pas conduit à des améliorations tangibles. Il semble d'ailleurs que la sélection retienne à chaque fois les plantes les plus hétérozygotes (PAYNE et FAIR-BROTHERS, 1976). Bien que *C. arabica* soit une plante autogame, les structures hétérozygotes sont donc très favorables, ceci étant confirmé par le comportement des hybrides F_1 entre ori-

gines différentes de *C. arabica*. Les techniques de bouturage et surtout de greffage permettent de proposer la diffusion de ce type d'arbre en grande culture.

Chez *C. canephora*, l'hétérozygotie des plantes conduit à une grande variété de types chaque fois qu'on réalise un croisement. Cette dispersion des résultats implique automatiquement le choix de meilleurs arbres dans chaque descendance pour une multiplication végétative ultérieure. L'obtention de nouvelles variétés diffusées par graines ne peut être proposée que si l'on désire avoir des variétés populations dont la plasticité face au milieu soit élevée.

Cette grande hétérogénéité rend difficile également la détermination des paramètres classiques de la génétique quantitative: l'aptitude générale (A.G.C.) et l'aptitude spécifique (A.S.C.) à la combinaison. Elle rend aléatoire une sélection en deux temps qui serait basée d'abord sur le choix des géniteurs à A.G.C. élevée, suivi de la détermination des A.S.C. à l'intérieur de ce groupe de géniteurs.

Une fois les méthodes de multiplication végétative bien dominées il est aussi possible d'entreprendre une sélection sur du matériel provenant d'hybridation interspécifique. Les premiers travaux dans ce sens ont été réalisés à Java au début du siècle (CRAMER, 1957). De nombreuses combinaisons d'hybrides naturels à partir des espèces *C. canephora*, *C. congensis*, *C. liberica*, *C. stenophylla* ont été testées dans ce pays. Les hybrides «congusta» (*C. canephora* × *C. congensis*) ont été introduits en culture.

Plus récemment CAPOT (1972) en Côte d'Ivoire a entrepris l'hybridation entre les deux espèces cultivées *C. arabica* (tétraploïde) et *C. canephora* (diploïde). L'obstacle de la stérilité de ces formes hybrides dû aux niveaux de ploïdie différents des deux espèces a été surmonté en croisant des représentants de l'espèce *C. arabica* par des géniteurs *C. canephora* autotétraploïdes obtenus artificiellement. Cet auteur a pu dégager de l'ensemble des hybrides qu'il a réalisés plusieurs formes agronomiques intéressantes diffusées sous le nom d'«arabusta».

3. Le choix du matériel

La réussite d'un cycle de sélection dépend beaucoup du matériel auquel il est appliqué. Si la grande variabilité des descendance de *C. canephora* a pu faire penser qu'il n'était pas urgent de prospecter toute la variabilité de cette espèce (DUBLIN, 1967), il n'en a pas été de même pour *C. arabica* pour lequel l'étude des premières variétés en provenance du centre d'origine (Ethiopie et Soudan) a montré la richesse en types morphologiques et formes résistantes à différentes maladies. L'intérêt pour les prospections étant récent, nous voudrions présenter les types de matériel qui étaient à la disposition du sélectionneur il y a quelques années.

a. Collection de types ou de mutants.

Les collections de mutants ont surtout été établies avec des *C. arabica*. Il existe les mutants: *erecta*, *maragogipe*, *cera*, *polysperma*, *purpurescens*, *laurina*. Ces mutants ont été bien étudiés au Brésil. La différence avec les formes initiales n'est souvent due qu'à un seul gène. Certains peuvent être utilisés pour des études particulières, en tant que marqueurs, par exemple

pour l'évaluation du taux d'allogamie (mutant *cera*). Le mutant *laurina* est lié à une faible teneur en caféine (KRUG et al., 1954.).

Chez *C. canephora*, on retrouve à peu près les mêmes mutants portant sur la forme de la feuille, la couleur du fruit, le port...

b. Collection de variétés sélectionnées.

Bien souvent, on trouve en collection les variétés sélectionnées pour leur productivité dans d'autres pays. En général, en dehors du pays de sélection, le comportement de ces plantes ne présente rien de remarquable. Cela peut s'expliquer par l'efficacité de la sélection qui n'a retenu que des plantes dont l'ajustement aux conditions locales du milieu est très strict permettant un fonctionnement optimum.

Les plantes remarquées dans les différentes plantations d'un pays seraient à inclure dans ce type de collection bien que présentant un tout autre intérêt. Ces plantes résultent d'un brassage génétique qu'il est difficile de préciser mais d'une efficacité indéniable. C'est en général sur ce type de plantes qu'a été basée la sélection clonale de *C. canephora* tout particulièrement en Centrafrique, Ouganda, Madagascar, Côte d'Ivoire (IFCC, 1963).

c. Collection d'espèces.

Les stations de recherches caféières ont en général, dans leur collection, quelques représentants d'espèces de caféiers d'origines diverses. La provenance des échantillons, quand elle est connue, ne correspond que rarement au pays d'origine de l'espèce. A la suite de ces transferts, on constate souvent des erreurs d'identification, quand il ne s'agit pas d'impossibilité de détermination suite à des hybridations naturelles pour le matériel repris par graine. Les espèces étant allogames, le parent paternel est inconnu et en collection il appartient souvent à une autre espèce. Ainsi, chaque multiplication de ce type s'accompagne au moins d'une perte d'information, sinon d'une erreur sur la nature du matériel.

Ces collections d'espèces ont été aussi établies dans des jardins botaniques. Malgré les problèmes évoqués précédemment c'est souvent à partir de ces jardins botaniques qu'ont été organisés les échanges de matériel pendant la première moitié du XXème siècle.

Ces collections ont donc un intérêt documentaire à la condition d'y supprimer toutes les erreurs qui auraient pu y être introduites au cours du temps, mais ne peuvent en aucun cas servir de base pour un programme d'amélioration et de sélection des caféiers. En effet, dans ce cas, il faut pouvoir prendre en compte la variabilité la plus complète possible de chaque espèce.

II. LES PROSPECTIONS

A. L'ORGANISATION DES PROSPECTIONS

1. Le choix des points de prospection

Les prospections de caféiers spontanés, depuis une quinzaine d'années, ont porté sur le *C. arabica* en Ethiopie par la F.A.O. en 1964 et par l'ORSTOM en 1966 (FAO 1968, GUILLAUMET et HALLE in IFCC 1978), sur les caféiers malgaches (*Mascarocoffea*) (ORSTOM-IFCC, 1960-1974) et sur les caféiers de la section des *Eucoffea* en Côte d'Ivoire, Centrafrique, Kenya (ORSTOM-IFCC, 1975-1977).

Le choix des espèces prospectées s'est porté tout d'abord sur l'espèce *C. arabica* qui assure les 3/4 de la production mondiale et qui, en Côte d'Ivoire, est la base du programme de création de variétés nouvelles du type « arabusta ». Les caféiers malgaches représentent une section originale du genre *Coffea* intéressante, tant pour la connaissance du genre que pour l'intégration dans un programme d'amélioration des caféiers par leur caractère « absence de caféine ». La prospection de ce groupe a été facilitée par l'existence d'une structure locale de recherches sur les caféiers simplifiant ainsi les problèmes de mise en collection du matériel prospecté, situation que l'on retrouve également en Côte d'Ivoire.

La prospection de la Centrafrique a été retenue car il était possible, dans un même état, de trouver plusieurs espèces et formes de caféiers: *C. canephora*, *C. congensis*, *C. liberica*, Caféier de la Nana. L'intérêt portait surtout sur l'espèce *C. congensis* qui n'existait plus dans les collections africaines et dont les combinaisons interspécifiques avec *C. canephora* avaient produit des hybrides intéressants (CRAMER, 1957). Certains clones de ce type ont été diffusés à Java et Madagascar.

La prospection du Kenya fondée sur la recherche de *C. eugenioïdes* a été élargie aux autres espèces de ce pays: *C. arabica* qu'il est possible de trouver proche de la frontière éthiopienne, et *C. zanguebariæ* qui croît sur la côte de l'Océan Indien. L'intérêt de cette région est d'abriter des caféiers de la sous-section des *Mozambicoffea* qui représentent des formes de transition entre les *Eucoffea* et les *Mascarocoffea* (BERTHAUD et al., 1980).

On voit donc que l'organisation des prospections a été basée sur des considérations concernant le complexe multispécifique des caféiers et d'autres, beaucoup plus pratiques, concernant les possibilités de réalisation des différents projets (BERTHAUD et al., 1977).

Si les prospections peuvent se poursuivre, les pays à retenir seront des pays géographiquement intermédiaires entre ceux déjà prospectés, tel le Cameroun pour les caféiers centre et ouest africains, et la Tanzanie pour les *Mozambicoffea*. Nos recherches en herbier nous ont montré que ces pays possèdent un grand nombre de formes de caféiers.

2. Le choix des prospecteurs: profil.

Répartition des tâches.

Le travail de prospection fait appel à des connaissances très variées. Il y a donc intérêt à associer, dans une même équipe, des personnes ayant

des spécialités différentes. Les connaissances nécessaires en fonction du programme prévu peuvent être présentées de la façon suivante :

Connaissance de la plante :

- Il faut connaître les caractéristiques d'identification des caféiers. En effet, on doit distinguer les caféiers des autres espèces de Rubiacées et cela à tous les stades du développement végétatif, dans leur habitat naturel,
- les méthodes de conservation et de multiplication doivent être bien maîtrisées. Dans chaque population, il convient de choisir le type de matériel qui a les meilleures chances de survie. Des connaissances horticoles sont donc particulièrement nécessaires et doivent avoir été complétées par des mises au point spécifiques, car les techniques utilisées en prospection sont quand même différentes de celles pratiquées pour la manipulation de grandes séries de plantes.

Connaissances permettant de situer la plante dans son milieu :

- il s'agit de définir l'habitat de chaque espèce de caféiers et d'utiliser ces connaissances pour la recherche de nouvelles stations à caféiers,
- il convient également de définir les relations de la plante avec ses parasites naturels. Pour cela, un « paysage » phytosanitaire devra être décrit concernant les parasites attaquant les différentes plantes que l'on trouve dans les stations à caféiers. Les parasites des caféiers devront être récoltés pour les études ultérieures*.

Le rassemblement des connaissances nécessaires peut être obtenu en faisant appel à des spécialistes de 3 disciplines : botanique, phytopathologie, génétique et amélioration des plantes. Les tâches de chacun de ces spécialistes peuvent être réparties de la façon suivante :

Botaniste :

- Contribution à la stratégie de prospection
- recherche des stations à caféiers et description de la liaison caféiers-forêt
- participation à la récolte et identification du matériel caféier.

Phytopathologiste ;

- Participation à la récolte du matériel caféier.
- observation des différents parasites dans les stations à caféiers et dans leur voisinage,
- récolte des parasites du caféier*
- inventaire du matériel récolté et étude de la variabilité des parasites : niveau d'agressivité, caractérisation des races...

Généticien horticulteur :

- contribution à la définition de la stratégie de prospection
- recherche des stations à caféiers

* Ces récoltes sont soit destinées à des banques de parasites situées hors des zones à caféiers pour permettre des tests de résistance par inoculation, soit préparées sous forme de fixations mortes, dans des buts d'analyse.

- récolte du matériel
- conservation et transport du matériel
- participation aux études sur la variabilité du matériel prospecté.

B. RÉALISATION PRATIQUE DES PROSPECTIONS

1. Types de prospections

La réalisation pratique des prospections est surtout déterminée par le type des missions effectuées. En Côte d'Ivoire et à Madagascar, il s'agissait de prospections presque continues tout au long de l'année, tandis qu'en Centrafrique et au Kenya, il s'agissait de missions de durée limitée à 5 ou 6 semaines. Dans le premier type de prospection, il est possible d'obtenir des informations beaucoup plus précises que dans le deuxième.

L'itinéraire de prospection est déterminé en fonction des connaissances acquises préalablement, surtout par les visites d'herbiers. L'itinéraire cherche en général à couvrir l'ensemble des aires de répartition des différentes espèces. Pour une espèce comme *C. congensis* à répartition linéaire, il était facile de proposer à l'avance des points de prélèvement espacés de plusieurs centaines de kilomètres. Pour *C. liberica*, avec une répartition en réseau dans les forêts-galeries de Centrafrique par exemple, il était plus difficile de prévoir un itinéraire exploitant toutes les directions des gradients climatiques. Les limitations au schéma viennent en premier lieu du réseau routier qui ne se superpose pas obligatoirement très bien aux aires de répartition des caféiers. La deuxième limitation tient à la découverte des stations à caféiers. Les caféiers étant des plantes de forêt, il convient de trouver d'une part des forêts et ensuite, il faut localiser, si elles existent, les populations de caféiers à l'intérieur de ces forêts.

La conséquence en est que, pour des prospections de courte durée, leur réalisation complète doit être conçue en deux temps. Une première mission permet une récolte de matériel selon un réseau à mailles très larges. Avec les informations recueillies et l'analyse du matériel récolté, il est possible de localiser des « nœuds » de variabilité qu'il convient de reprospector par la suite.

2. Les caractères de reconnaissance des caféiers

Le caractère botanique permettant la distinction du genre *Coffea* des autres genres de Rubiacées est essentiellement la « placentation caféenne ». D'autres caractères sont liés à la fleur, aux bractéoles de l'épicélice... En forêt les caféiers fructifient rarement et la floraison n'a lieu qu'une ou deux fois par an et ne dure qu'un jour ou deux; on ne peut donc s'appuyer sur ces caractères pour une détermination en prospection. Aussi a-t-il fallu chercher des caractères de reconnaissance des caféiers typiques de l'appareil végétatif.

Pour les plantules :

Les plantules de caféiers ont des feuilles cotylédonnaires caractéristiques: feuille plus ou moins cordiforme, pétiole court, trois nervures, absence de poils ou d'ailettes sur la tige.

Pour les arbres adultes :

Les troncs de caféiers sont rectilignes et ne sont pratiquement jamais ramifiés dans la zone basale. leur diamètre excède rarement 10 à 15 cm, bien que l'on ait déjà rencontré des caféiers de 35 cm de diamètre. Le rhytidome est généralement lisse, finement pelucheux avec une tendance à s'exfolier, inodore et sans saveur à quelques exceptions près. La couleur varie de blanc à blanchâtre, gris, rouge et même noire avec une tonalité constante. Pour toutes les espèces, sous l'écorce, on trouve une assise chlorophyllienne que l'on met en évidence en enlevant un éclat d'écorce par coupe tangentielle.

Pour l'ensemble des plants :

La forme des stipules des caféiers peut se distinguer de celle des autres Rubiacées. Les stipules comportent une arête à leur extrémité. Chez les caféiers, l'arête peut être plus ou moins longue mais donne toujours l'impression de faire partie intégrante de la stipule, ce qui est rarement le cas chez d'autres Rubiacées. Les bourgeons terminaux sont toujours recouverts de cire dont la couleur varie avec l'espèce.

A partir des feuilles, on peut soit reconnaître certains caféiers, soit exclure du genre *Coffea* certaines Rubiacées. Les feuilles de caféiers ont très souvent un aspect brillant (mat dans le cas de *C. congensis*). généralement pétiolées, les feuilles de quelques espèces sont sessiles : la base du limbe peut être cordée. La taille des feuilles varie dans des proportions très importantes, de un ou deux centimètres chez certaines espèces malgaches à 30 ou 40 cm chez certains *C. liberica*. Les feuilles sont toujours entières et le bord du limbe est toujours droit. Certaines espèces possèdent des domaties (petites chambres avec ou sans poils à la base ou le long des nervures secondaires).

En général, l'un quelconque de ces caractères n'est pas suffisant pour déterminer un caféier mais seuls les caféiers les possèdent tous.

3. La recherche des stations à caféiers

Les fiches d'identification d'herbier fournissent parfois des indications précises et suffisantes pour retrouver une population de caféiers. Tel est le cas, par exemple, d'une espèce (*C. fadenii*), récoltée au Kenya en 1977 et qui avait été précédemment collectée et mise en herbier par un botaniste. Souvent, ces indications ne sont pas très utiles car les transformations du milieu ont été suffisantes pour faire disparaître les populations observées antérieurement. C'est le cas des populations de *C. eugenioïdes* au pied du Mont Kenya qui avaient été observées en 1930 dans des zones d'exploitations forestières. C'est aussi le cas de nombreuses populations prospectées par PORTERES (1937) en Côte d'Ivoire, à la même époque (*C. humilis*, *C. canephora*, *C. stenophylla*). Par contre, les exploitations forestières actuelles permettent souvent une pénétration en profondeur de forêts jusqu'alors peu visitées. En Côte d'Ivoire par exemple, nous avons pu prospecter dans les forêts du Sud-Ouest qui étaient, avant l'exploitation forestière, très difficiles d'accès.

Les stations accessibles et intéressantes ne sont donc pas permanentes. Les connaissances acquises ont été utilisées plus pour définir le type de forêt dans laquelle se trouve une espèce que pour avoir un repérage précis

des localités à prospector. Quand une espèce a été repérée dans son milieu, la prospection des populations suivantes en est facilitée. Mais cela ne dispense pas de prospector dans les étages de végétation différents ou dans les forêts d'un autre type, car il convient de bien cerner l'adaptation de chaque espèce de caféier. Ainsi, après prospection, il est possible de dire qu'au Kenya, *C. eugenioides* est adapté à un type de forêt précis, défini par les botanistes comme la partie supérieure de l'étage des «Lowland forest» (forêt de basse altitude) qui se trouve au Kenya vers 1600 m d'altitude. Les recherches à l'étage supérieur (Highland forest) ou étage à *Podocarpus*, se sont toujours révélées négatives. Les étages inférieurs ne sont que très rarement occupés par la forêt.

4. Description des populations de caféiers

Il paraît difficile de décrire une population «type» de caféiers; il s'agit donc ici simplement d'attirer l'attention sur les différentes caractéristiques de ces populations et leurs conséquences sur le schéma de prospection.

— Les populations de caféiers se trouvent généralement dans les forêts peu dégradées. Elles sont constitutives du sous-bois. Aussi tout début de défrichement leur est-il fatal. Quelques rares espèces peuvent tout de même exister en forêts en voie de reconstitution. Nous en avons vu quelques exemples en Centrafrique avec l'espèce *C. liberica*. A Madagascar, certaines populations de *C. buxifolia* se trouvent dans des reboisements d'Eucalyptus.

— De façon générale, il existe des arbres dispersés, rares, et des groupes de plusieurs arbres que nous appellerons populations. Les arbres dispersés, s'ils sont difficilement récupérables par échantillonnage lors d'une prospection, doivent tout de même jouer un rôle important dans la dynamique des populations de caféiers. En effet, ces caféiers pourraient être des arbres «relais» dans le transfert des gènes de population à population. Ils peuvent aussi être considérés comme «conquérants» de nouveaux milieux. La répartition spatiale des arbres d'une population, et entre populations, dépend des espèces.

Chez *C. liberica*, il existe de petits groupes d'arbres et des arbres «relais». Chez *C. congensis*, sur les bords des rivières et des fleuves, la répartition est linéaire tandis que l'on trouve des groupes d'arbres à l'intérieur des îles. La répartition de *C. eugenioides* est assez homogène. On ne trouve que très peu de groupements d'arbres, les arbres sont clairsemés dans la forêt (1 tous les 5 ou 10 mètres par exemple). Chez l'espèce *C. arabica*, au Mont Marsabit (Kenya), on a trouvé de petites populations constituées d'un ou deux arbres-mères et de nombreux descendants (jeunes arbres).

— Actuellement sauf dans quelques zones privilégiées, les forêts ne couvrent plus de grandes étendues de territoire de façon continue mais au contraire ont une répartition en mosaïque. Liées à la forêt, les populations de caféiers ont donc une répartition discontinue. Il est possible de trouver selon les espèces des discontinuités à l'intérieur de la forêt, comme nous venons de l'évoquer. Aussi la notion de population chez les caféiers est-elle variable d'une espèce à l'autre et d'un lieu à un autre. Une seule notion pourrait avoir une signification biologique: ce serait celle de communauté pollinique correspondant au groupe d'arbres échangeant librement des

grains de pollen entre eux. Malheureusement nous ne disposons que de peu d'études concernant les échanges polliniques entre caféiers dans leur milieu naturel. En Côte d'Ivoire dans la forêt de l'IRA des *C. canephora* se pollinisent entre eux à des distances de plus de 40 mètres. Nous avons donc admis qu'une population était finie dans la mesure où, autour du groupe d'arbres considéré, dans une bande d'une cinquantaine de mètres il n'existait plus d'autres caféiers. Cette définition est arbitraire. De toute façon il convient de repérer le plus exactement possible les groupes d'arbres. Après récolte et mise en collection pour les analyser il restera toujours la possibilité de choisir le niveau de regroupement : entre groupes d'arbres, entre grandes populations, entre régions, entre pays prospectés.

Outre l'hétérogénéité spatiale, il existe une hétérogénéité à l'intérieur de la population pour l'âge des arbres. Nous proposons une distinction entre les classes suivantes (BERTHAUD et GUILLAUMET, 1978) :

- Les plantules : elles ont conservé les feuilles cotylédonnaires,
- les jeunes plants de la chute des feuilles cotylédonnaires à l'apparition des rameaux plagiotropes,
- les jeunes arbres : de l'apparition des rameaux plagiotropes à la mise à fleur,
- les arbres adultes : à partir de la mise à fleur.

En comparant l'importance relative de ces différentes classes, il est possible de distinguer des populations en extension où toutes les classes sont bien représentées, et tout particulièrement la première, des populations en extinction où ne se trouvent presque que des arbres adultes.

Les arbres adultes ont des cycles de production très variables. Il est rare, en forêt, que tous les arbres capables de produire le fassent chaque année et simultanément. Ainsi donc, une récolte à un instant donné (type mission de prospection) ne portera que sur quelques arbres de la population et seulement sur ceux dont les fruits auront une maturité suffisante pour permettre une germination correcte des graines. Pour avoir une descendance de la plupart des arbres producteurs d'une population, il faut donc envisager des récoltes sur plusieurs années, avec plusieurs passages chaque année. Dans une population de *C. stenophylla*, en Côte d'Ivoire, la récolte a porté une année sur 28 arbres et l'année d'après sur 8 autres arbres. Cette population comprend plusieurs centaines d'arbres.

5. Observation-Echantillonnage

Le travail de recherche des populations étant effectué il reste l'observation de ces populations pour en retirer le maximum de renseignements et pour récolter du matériel végétal vivant.

Observations

Elles portent sur :

- la description du type de forêt,
- les différents étages, l'importance du sous-bois, sa composition,
- l'état sanitaire des caféiers et les différents parasites existant dans la forêt,
- la composition de la population : plan, importance de chacune des classes d'arbres, date de maturité des graines, estimation de la date de chute des fruits, de celle de la germination des graines.

Récolte de matériel

Pour la récolte, on a utilisé plusieurs types de matériel végétal, le choix étant en fait dicté par son utilisation ultérieure :

— Quand il s'agissait d'une première prospection, ou d'utiliser ces arbres comme géniteurs, on prélevait dans la population un certain nombre (30-50) de jeunes plants de 50 cm à 1 m de haut. C'est le matériel qui a les plus grandes chances de survie et de reprise. Cela est suffisant pour avoir une première idée de la variabilité des populations et revenir plus tard sur les plus intéressantes.

- Pour une collection de conservation, on récoltait le matériel le plus variable possible.

— Pour des études ultérieures de génétique des populations, on tente d'obtenir une image fidèle de la population en prélevant du matériel appartenant à toutes les classes définies précédemment.

Les techniques utilisées pour la récolte du matériel dépendent du type de plantes. Pour les plantules et jeunes plants, il suffit de les arracher. Le taux de reprise en serre est toujours très élevé, de l'ordre de 80 à 90%. Pour les arbres, il est nécessaire de prendre du bois de greffe (bois en cours d'aouètement et bois aouété). Le taux de réussite est très bon quand il n'y a pas de stockage de ce type de matériel, c'est-à-dire dans le cas de prospections en Côte d'Ivoire ou à Madagascar. Dans le cas des prospections à durée limitée (Centrafrique, Kenya), les résultats n'ont jamais été très bons sur l'ensemble des échantillons et souvent très variables d'un échantillon à un autre. Le bouturage d'axes végétatifs verts n'est pas utilisé pour le matériel de prospection.

Sans soin particulier, le pouvoir germinatif des graines de caféier diminue très rapidement. Une étude réalisée en Côte d'Ivoire par COUTURON (1980) a permis de mettre au point une méthode de stockage des graines sans perte de pouvoir germinatif: il suffit d'empêcher le dessèchement des graines après un séchage léger en maintenant les échantillons en sacs plastiques fermés.

Nous voyons donc que, pour qu'une prospection aboutisse à la mise en collection du matériel, toute une série de techniques doit être bien assimilée, ce qui suppose des mises au point préalables et ne laisse guère de place à une improvisation sur le terrain.

Nombre de populations et nombre d'échantillons à prospector par population

Le temps passé dans une population pour le prélèvement du matériel peut être considéré comme proportionnel au nombre d'échantillons recueillis. Il est aussi fonction du type de matériel prélevé. Il est plus long de prélever du bois de greffe que d'arracher une plantule ou un jeune plant. Nos prélèvements ont été de l'ordre de 50 à 100 échantillons par population, récoltés en 3 heures environ. Une grande partie de ces échantillons est constituée de plantules et jeunes plants.

Le temps pour accéder à une population de caféiers est souvent long, car il se compose de toute la phase de déplacement pour atteindre la forêt et ensuite de la phase de recherche des populations. Au Kenya il a été prospecté en moyenne une population par jour sur le terrain soit une pour deux jours de mission.

Si on excepte *C. arabica* à reproduction autogame et à variation intrapopulation assez faible, toutes les autres espèces ont des populations à forte variabilité. Pour en avoir un bon échantillonnage, il convient de prélever un nombre de représentants suffisant par population. Une prospection plus rapide de chacune des populations repérées, en diminuant le nombre d'échantillons prélevés par population, ne libérerait que peu de temps pour trouver de nouvelles populations.

Ces considérations montrent qu'il y a lieu d'approfondir la prospection des populations découvertes plutôt que d'essayer de multiplier le nombre des populations prospectées, ceci évidemment dans le cas d'un temps de travail limité par la durée de la mission. Nous ne disposons pas de données suffisamment précises pour établir un calcul du type de celui proposé par MARSHALL et BROWN (1974).

6. La préparation du matériel ; le transport

Des soins apportés à la préparation du matériel dépendent ses chances de survie et donc la réussite de la mise en collection. Dès la récolte, sur l'emplacement de la population les bois de greffe et les jeunes plants sont mis en sac plastique pour éviter tout dessèchement. Si la récolte a lieu aux heures chaudes de la journée ou pendant une période particulièrement sèche, on réhumidifie l'atmosphère des sacs avec un petit pulvérisateur à main. L'ensemble est ensuite placé dans des conteneurs isothermes (glacières) pour éviter les variations importantes de température, surtout pendant les transports automobiles. Avec cette technique il est possible de conserver du bois de greffe pendant plusieurs semaines. La conservation dépend de l'état du matériel récolté et de l'espèce considérée.

Les graines récoltées sont conservées en parche. Entre la récolte et la conservation, trois opérations sont nécessaires : le dépulpage, la démucilagination et le séchage. Ces opérations ne se font jamais sur les lieux de prélèvement mais en fin de journée. La première opération peut être réalisée à la main, mais dès que le nombre d'échantillons augmente, elle devient très longue et constitue une limitation aux possibilités de cueillette. Les moyens mécaniques habituellement utilisés dans les plantations ne conviennent que pour des quantités de café de plusieurs kilos, aussi avons-nous dû mettre au point une « planche à dépulper ». Cette planche permet d'augmenter le rendement du dépulpage de façon très appréciable et convient pour des échantillons de 200 à 300 fruits, ce qui est la taille moyenne des échantillons récoltés en prospection.

La deuxième opération, la démucilagination, peut se faire par fermentation 24 heures sous eau ou par trempage pendant 10 minutes dans une solution de soude à 1%. Ces deux méthodes sont utilisées selon les disponibilités en temps.

Le séchage se fait dans des séchoirs contenant chacun un échantillon. Ils sont emboîtables pour pouvoir être superposés pendant le transport automobile et éviter ainsi les mélanges entre échantillons. Après le séchage de 24 à 48 heures les graines sont stockées en sacs plastiques étanches placés dans un conteneur isotherme. Avant expédition, tous les échantillons sont traités avec fongicides et insecticides pour éviter toute exportation de parasite d'un pays vers un autre.

7. La mise en quarantaine — Les risques potentiels suivant l'origine et la nature du matériel végétal

Dans le cas du caféier, le transfert du matériel végétal s'effectue essentiellement sous la forme de graines, de plantules et de boutures.

Les graines représentent sans doute le type de matériel le plus sûr sur le plan sanitaire. L'élimination, dès la récolte, des cerises infectées, le dépulpage, le séchage puis la désinfection superficielle de la graine en parche permettent de réduire considérablement les risques de dissémination des parasites des baies, tel que *Colletotrichum coffeanum* ou *Fusarium* sp. et d'éliminer les spores d'autres parasites du caféier : *Hemileia vastatrix*, *Cercospora coffeicola*, pouvant polluer superficiellement les fruits. Apparemment, aucune maladie cryptogamique importante ne semble transmise par la graine. Les risques encourus concernent essentiellement le transport d'insectes à l'intérieur des graines.

Les boutures constituent un matériel susceptible d'héberger de nombreux parasites externes et internes. L'origine africaine presque exclusive du matériel de prospection nous conduit à considérer plus particulièrement les parasites existant sur ce continent. Parmi les champignons pathogènes, plusieurs souches de *Colletotrichum* peuvent être présentes sur boutures à l'état latent ou infectieux : *C. coffeanum* var. *virulens*, souche pathogène spécifique de l'antracnose des baies ainsi que les souches de *C. coffeanum* et *C. gloesporoides* agents du « die-back » des rameaux et de l'antracnose des feuilles. Plusieurs espèces de *Fusarium* peuvent également être hébergées par les boutures : *F. equiseti* décrit en centrafricain sur *C. arabica* et *C. canephora* parasite des baies, *F. stilboides* signalé en Afrique de l'Est, et *F. xylarioides* agent de trachéomycose.

Le problème se pose aussi de façon importante pour les insectes : borers et cochenilles principalement.

Les plantules présentent potentiellement les mêmes risques de contamination que les boutures. S'y ajoutent les parasites de racines, pourridiés, *Fusarium* sp.) et les microorganismes du sol susceptibles d'être véhiculés à la surface des racines (bactéries, champignons et nématodes) qui peuvent présenter un danger pour d'autres plantes que le caféier. Enfin, les principaux parasites foliaires des plantules sont les rouilles *Hemileia vastatrix*, *H. coffeicola*.

Le transfert et la quarantaine

À l'issue d'une prospection, le matériel collecté est tout d'abord soigneusement examiné afin d'éliminer tout échantillon présentant des symptômes quelconques d'infection. Ce principe fondamental doit être respecté afin de prévenir tout risque de dissémination d'une part, et d'autre part de garantir les meilleures conditions de conservation et de reprise du matériel.

Avant expédition, chaque échantillon subit un traitement insecticide par pulvérisation ou trempage afin d'éliminer les œufs, larves ou adultes d'insectes présents à la surface des tissus végétaux. De même, un traitement fongicide de contact permettra de détruire spores et mycélium de champignons. Le matériel est ensuite emballé en sacs plastiques clos puis placé en conteneurs fermés pour l'expédition.

Le lieu de quarantaine où sont acheminés les échantillons collectés a été choisi de telle sorte que les risques d'introduction de parasites ou rava-

geurs soient nuls. Ainsi, la station de quarantaine des caféiers collectés en Ethiopie par les différentes missions FAO est située à Gleen Dale aux U.S.A. Les caféiers collectés lors de la mission ORSTOM au Kenya en 1977 ont été réunis en France à Montpellier. Dans tous les cas, la quarantaine doit avoir lieu hors des zones de caféiculture.

Dès réception, le matériel est introduit en serre de quarantaine dont les caractéristiques ont été précisées par ailleurs. Graines et boutures, après examen par un spécialiste, sont installées en bacs de germination sur un substrat stérile et maintenues pendant plusieurs jours dans une atmosphère humide proche de la saturation afin d'assurer la reprise de végétation et de favoriser le développement d'éventuels parasites. En ce qui concerne les plantules pourvues de leur système racinaire, la greffe, quand elle est possible, permet d'éliminer les racines et d'éviter les contaminations par les parasites du sol.

Après 4 à 5 semaines de quarantaine, les conditions de milieu étant favorables au développement des champignons pathogènes, toute présence d'*Hemileia vastatrix*, de *Colletotrichum coffeanum* et de *Cercospora coffeicola* en particulier doit être décelable. Après diagnostic, les plants présentant des symptômes d'infection sont traités à l'aide de fongicides appropriés, les plants morts sont détruits par incinération. Des pulvérisations régulières d'insecticides permettent en outre d'assurer une protection optimale contre les insectes provenant soit du matériel lui-même soit éventuellement et fortuitement du milieu extérieur.

Dans le cas du caféier, une quarantaine de 6 mois à 1 an semble offrir de bonnes garanties pour l'exportation du matériel et son exploitation avec le minimum de risques sur le plan sanitaire.

Une seconde quarantaine, de durée plus brève, en conditions tropicales, sur les lieux mêmes où le matériel sera exploité, permettra d'effectuer un contrôle définitif.

Notons cependant que les quarantaines peuvent être des occasions de plus de disparition de matériel, même sain, du fait d'accidents au cours de repiquages et de l'entretien des jeunes plants. Il faut donc limiter ces quarantaines aux seuls cas indispensables.

8. Le rapport de prospection

Il nous paraît important d'insister sur le rapport de prospection. Les utilisateurs du matériel végétal doivent pouvoir disposer des informations les plus complètes possibles sur celui-ci.

Nous proposons les subdivisions suivantes :

1. Itinéraire: pour situer les stations prospectées, permettant éventuellement de retourner sur celles-ci.
2. Description des stations à caféiers
 - position géographique
 - type de forêts
 - matériel récolté et relation entre les différents échantillons
3. Liste du matériel récolté par espèce ou groupe d'espèces.
4. observations sur les populations: pour situer quelques problèmes à résoudre par les utilisateurs au cours de leurs analyses.

Il nous a souvent été difficile de retrouver des stations à caféiers car les informations portées sur les étiquettes d'herbier étaient insuffisantes. Nous

recommandons donc de situer les stations prospectées par leurs coordonnées géographiques précises. Le report des stations peut être alors fait sur les cartes, quelle qu'en soit l'échelle.

Les échantillons prélevés au cours de la prospection portent tous un numéro permettant leur identification. Le but de cette numérotation est de pouvoir retrouver la provenance du matériel (station, région...), de connaître le type de matériel collecté (graines, plantules, jeunes plants...), et de fournir des indications sur les relations entre les différents échantillons (par exemple K 050: numéro du lot de graines récoltées sur le *C. eugenioides* n° K 049 dans la Kambiri forest dont la position est la suivante: Est = 34°54' Nord 00°22' — Altitude: 1650 m — Nord de la Kakamega forest — 20 km au N.E. de Kakamega, Kakamega district — Western province, d'après le rapport prospection Kenya). Le numéro de l'échantillon est affecté au sac de graines, non à chaque plantule provenant de ces graines.

L'identification en collection est obligatoirement une identification génotype par génotype, d'autant qu'avec les possibilités de la multiplication végétative, il est fort possible qu'un même génotype soit représenté par plusieurs arbres.

On voit donc qu'il n'y a pas correspondance entre les deux identifications successives. Pour éviter un changement complet de numérotation entre la prospection et la mise en collection nous avons utilisé le système suivant: pour un lot de graines par exemple:

- Prospection: K 050: lot de graines récoltées sur le *C. eugenioides* K 049

- Collection: K 050-01, K 050-02, K 050-03 plants provenant du lot de graines récoltées sur le K 049.

Ce système permet la multiplication végétative de n'importe quelle plante et conserve la numérotation de départ et donc l'accès à toutes les informations du rapport de prospection.

C. UN EXEMPLE DE PROSPECTION DES CAFÉIERS SPONTANÉS (KENYA)

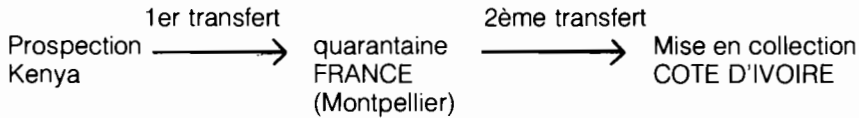
Le but principal de la mission était de collecter du matériel de *C. eugenioides*, espèce présumée voisine de *C. arabica*, que l'on savait avoir des faibles teneurs en caféine (A. CHARRIER, J. BERTHAUD, 1975) et intervenir dans certains croisements intéressants (J. LOUARN, 1976). Au départ cette prospection devait recouvrir Ruanda et Burundi, ce qui ne s'est pas avéré possible matériellement. Nous avons mis à profit cette mission pour ramener des caféiers de la section des *Mozambicoffea* très rares en collection et généralement assez mal connus sur le vivant. Nous retenons cette prospection comme exemple car elle réunit un ensemble de conditions favorables.

— le réseau routier très développé permet d'avoir un accès rapide aux différentes forêts à prospecter,

— les liaisons aériennes directes et fréquentes avec l'extérieur facilitent l'expédition du matériel végétal,

— la situation de la capitale au centre du pays permet de rayonner à partir de celle-ci et d'expédier le matériel après chacune des bouches de prospection. On évite ainsi un long stockage entre le moment de la récolte et celui de sa mise en pépinière en station de quarantaine. Il en résulte des chances supérieures de reprise du matériel.

L'organisation de la prospection correspondait au schéma proposé, à savoir:



Réalisation pratique

La recherche dans les herbiers européens (Kew et Meise) puis dans celui de l'Afrique de l'est à Nairobi a permis de nous rendre compte du nombre d'espèces existantes au Kenya (*C. arabica*, *C. eugenioides*, *C. zanguebariæ* et *C. fadenii*) et de leur localisation géographique. L'espèce *C. zanguebariæ* est une espèce qui n'est pratiquement représentée dans aucune collection. L'espèce *C. fadenii* avait été récoltée par FADEN et FADEN en 1972 (East African herbarium n° 72/269). (Voir note infrapaginale p. 71).

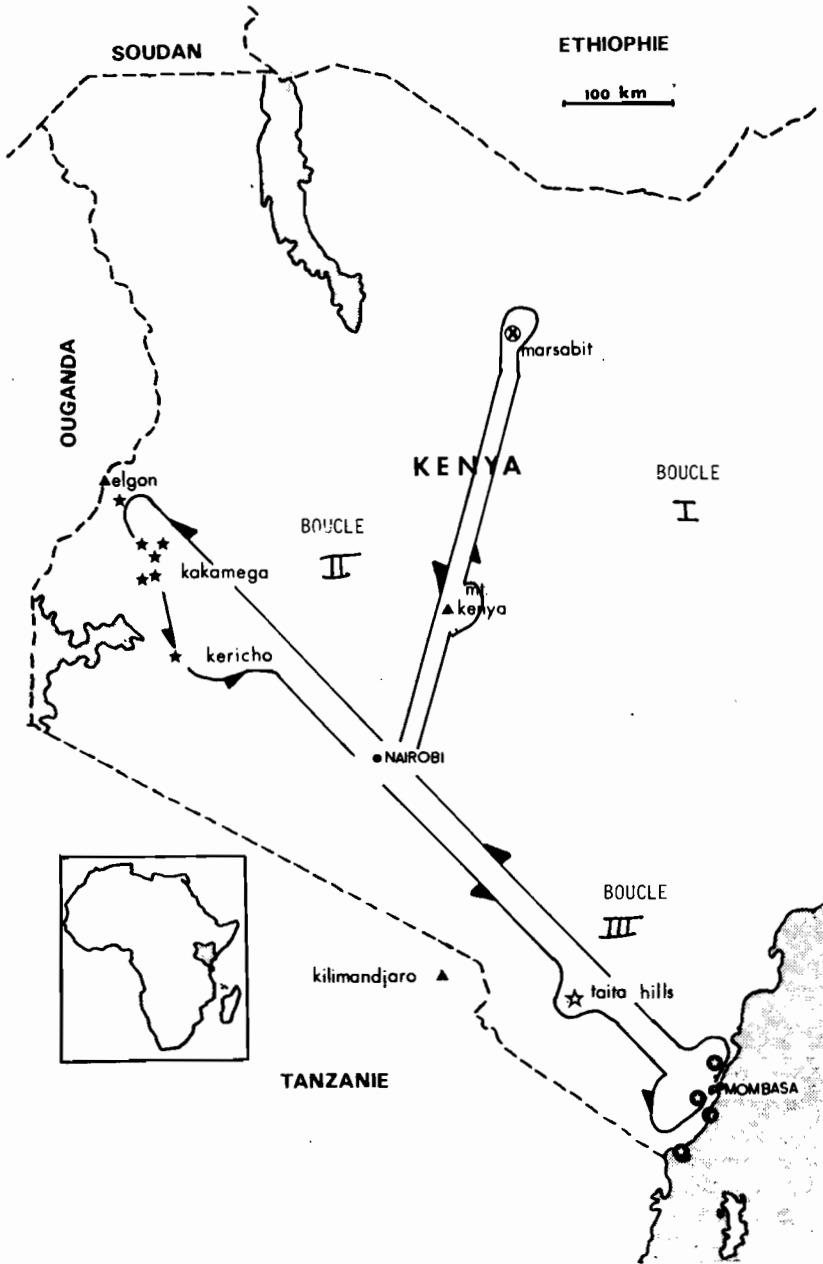
A la suite de ces observations un itinéraire a été choisi. Il correspond à une série de 3 boucles: (fig. 16).

- *boucle 1*: vers le Nord pour prospecter le *C. arabica* au Mont Marsabit (c'est la réserve forestière la plus proche de l'Ethiopie) et le *C. euaenioides* sur les flancs du Mont Kenya
- *boucle 2*: à l'Ouest vers les bords du Lac Victoria et les flancs du Mont Eigon pour le *C. eugenioides*
- *boucle 3*: vers le Sud pour récolter *C. ind* et *C. zanguebariæ* le long de la côte.

Le Tableau 15 permet de se rendre compte du temps réellement disponible pour la prospection par rapport à la durée totale de la mission. En partie à cause des grandes distances, on voit que le nombre de jours de prospection ne correspond en fait qu'à la moitié du nombre de jours de la mission, malgré toutes les situations favorables déjà décrites. On remarquera que, en moyenne, il a été prospecté une station par jour. A ce propos nous donnons une estimation en temps pour la prospection d'une population:

— déplacement pour « approche » de la population, automobile et marche à pied	1 à 3 heures
— observations et récolte d'échantillons (si la population a été trouvée)	3 heures
— traitement des échantillons en fin de journée (15 à 30 mn par échantillon)	2 heures

Si deux populations sont trouvées dans la même journée cela correspond à une dizaine d'heures de travail.



Situation géographique des caféiers récoltés au Kenya

Figure 16: Itinéraire de repérage et de collectes de la prospection des cafés spontanés.

- ⊗ *Coffea arabica*
- ★ *C. eugenioides*
- *C. zanguebariæ*
- ☆ *C. fadenii*

TABLEAU 15

Bilan de la prospection des caféiers spontanés Kenya-Janvier-Février 1977.

	Boucle 1	Boucle 2	Boucle 3	TOTAL
Nombre de jours prospection	5	5	4	14
Nombre de jours pour déplacements	2	2	2	6
Nombre de jours pour expédition des échantillons		2	1	3
Nombre de jours pour formalités administratives	3	1	1	5
TOTAL	10	10	8	28
Nombre de kilomètres parcourus	1500	2000	2000	5500
Nombre de stations prospectées	1	7	4	12
Nombre d'échantillons récoltés	6	63	42	111

Résultats

Cette prospection au Kenya nous a permis de nous rendre compte que des stations à caféiers décrites il y a quelques dizaines d'années avaient disparu. En fait ces caféiers (*C. eugenoides*) avaient été trouvés dans des zones d'exploitations forestières et ont disparu en même temps que la forêt. Au cours de notre prospection nous avons pu récolter du matériel sur des populations en voie de disparition selon les mêmes modalités.

Par contre grâce aux nouvelles routes créées nous avons eu accès à la population de caféiers des Taïta hills, dans un îlot forestier, conservé comme réserve. Cette espèce, indéterminée, n'était connue que par un seul échantillon d'herbier. Le collecteur notait déjà qu'il s'agissait vraisemblablement d'une espèce nouvelle ce que semble confirmer nos récentes observations*.

Au total nous avons pu récolter 111 échantillons appartenant à 4 espèces différentes de caféiers. La collection en Côte d'Ivoire, après le passage en quarantaine de ce matériel, est constituée de plusieurs centaines de génotypes différents par espèce de caféiers, la variabilité de ce matériel recouvre celle existante dans les conditions naturelles au Kenya.

Une telle prospection met en évidence l'urgence des récoltes des caféiers sauvages voués, dans de nombreux cas, à une disparition prochaine. Par ailleurs, les moyens à mettre en œuvre pour sauver ces ressources génétiques naturelles devront être importants sous peine d'inefficacité (BERTHAUD et al., 1980).

* Cette espèce n'a été décrite sous le nom de *C. fadenii* par D. BRIDSON que depuis 1982.

D. BILAN DES PROSPECTIONS

Nous présentons dans le Tableau 16 le bilan des prospections récentes de caféiers réalisées par l'ORSTOM et l'IFCC. Vu le schéma de prospection adopté en Ethiopie, il ne nous est pas possible de donner le nombre de populations de *C. arabica*, l'échantillonnage ayant plus porté sur des arbres pris individuellement que sur des populations, mais le nombre de points de prélèvement est élevé et se situe entre 40 et 50. Le nombre d'échantillons donné dans le tableau correspond au nombre d'échantillons ramenés de prospection, un échantillon pouvant être aussi bien un lot de graines qu'une bouture. Il n'y a donc qu'une correspondance lâche entre le nombre d'échantillons prospectés et le nombre d'arbres en collection. Au total, les collectifs installés en Côte d'Ivoire avec ce matériel, renferment 10.000 arbres environ couvrant une superficie de 4 hectares.

Les *Mascarocoffea* sont en collection à la station de KIANJAVATO (Madagascar) (10.000 caféiers, 43 espèces, 5 hectares).

En comparant les zones prospectées aux aires de répartition des caféiers (Fig. 14), il est possible de tirer les remarques suivantes.

Nous disposons actuellement de matériel végétal provenant des différentes zones géographiques. Des prospections complémentaires sont toutefois nécessaires. Les pays retenus en priorité sont le Cameroun et la Tanzanie. Le premier se situe au centre de l'aire *C. canephora* et *C. liberica* et en plus on y trouve plusieurs espèces paraissant endémiques à ce pays.

TABLEAU 16

Bilan des prospections récentes de caféiers en Afrique et à Madagascar.

Pays prospecté	Espèces prospectées	Nombre de populations	Nombre d'échantillons
Ethiopie 1966	<i>C. arabica</i>	—	60
Centrafrique 1975	<i>C. canephora</i>	3	18
	<i>C. congensis</i>	6	123
	<i>C. liberica</i>	20	289
	<i>C. de la Nana</i>	1	27
Kenya 1977	<i>C. arabica</i>	1	6
	<i>C. eugenioides</i>	7	61
	<i>C. zanguebariæ</i>	4	44
	<i>C. fadenii</i>	1	3
Côte d'Ivoire 1975-1980	<i>C. canephora</i>	8	160
	<i>C. humilis</i>	6	440
	<i>C. liberica</i>	11	250
	<i>C. stenophylla</i>	4	146
TOTAL	10 espèces	72	1.627
Madagascar 1960-1974	<i>Mascarocoffea</i> <i>C. sp</i> 43 espèces	172	

La Tanzanie offre l'intérêt de présenter des formes de passage entre différentes espèces:

C. zanguebariæ — *C. racemosa*

C. zanguebariæ — *C. eugenioides*

et entre les caféiers africains et les caféiers malgaches.

III. LES COLLECTIONS

A. LA MISE EN PLACE DES COLLECTIONS

Les problèmes de la mise en place d'une collection vivante de caféiers sont de deux ordres:

— un problème de surface:

En effet, le caféier est un arbuste qui pour se développer nécessite une surface minimum: selon l'espèce de 1 à 10 m² par individu. Le nombre d'individus à mettre en place dépendra donc des superficies disponibles ou autrement dit du financement attribué à ce type d'opération. Les engagements de dépenses doivent être prévus pour plusieurs années. Les frais occasionnés par l'entretien sont proportionnels au nombre d'arbres plantés.

Le travail de «sauvetage» ne se termine pas à la mise en place de la collection. A partir de ce moment il faut assurer la survie de tous les arbres installés, c'est-à-dire surveillance intensive, remise en multiplication des arbres parasités ou détruits par des accidents divers. La pérennité des caféiers supprime par contre la nécessité d'un renouvellement rapide des arbres. On peut penser qu'une fois installés les arbres peuvent rester en collection 30 ou 50 ans avant qu'il soit nécessaire de refaire un nouveau greffage de ces plantes.

— les problèmes d'ordre technique:

Les caféiers prospectés proviennent de zones écologiques très différentes: de la zone côtière (et récifs coralliens) pour le *C. zanguebariæ* jusqu'aux zones d'altitude: *C. eugenioides* ou *C. arabica*. En outre chaque espèce a une plasticité particulière ou si on préfère une adaptabilité différente.

Le choix du lieu de la collection est souvent lié à celui de la station de recherche sur les caféiers quand elle existe. Elle permet de bénéficier de toute une infrastructure mais elle ne correspond peut-être pas à la zone écologique idéale pour tous les types de caféiers. En Côte d'Ivoire ce problème a pu être résolu par l'implantation des collections en deux sites bien distincts du point de vue climatique: à la station centrale de l'IFCC à

Divo pour les caféiers de basse altitude, à Man au Mont Tonkoui à 1100 m pour les caféiers d'altitude.

Un problème technique demeure tout de même, qui consiste à réunir en un même lieu, à Divo par exemple, des plantes très différentes et à leur assurer des chances maximales de survie.

Des espèces très plastiques comme *C. canephora*, *C. liberica* ne semblent pas poser de problèmes; d'autres, par contre, ont des problèmes d'adaptation au sol (*C. congensis*) ou d'adaptation au climat (*C. fadenii*), ou une vigueur très faible avec une extrême sensibilité aux parasites (*C. humilis*).

La méthode retenue (LE PIERRES, 1977) consiste à implanter la collection sous forêt aménagée, c'est-à-dire, dans une forêt primaire d'où le sous-bois a été éliminé. Cela permet d'obtenir un milieu très tamponné vis-à-vis des aléas climatiques. Dans ce milieu, les caféiers ont une croissance ralentie, une tendance à « filer » et ne fleurissent que très peu. Sans forêt aménageable disponible, des parcelles fortement ombragées pourraient être préparées. Il convient tout de même de prévoir l'établissement de ce type de parcelles plusieurs années avant la prospection.

Les plantes installées dans ces collections sont greffées sur porte greffe bien adaptés aux conditions pédoclimatiques locales. Dans le cas de la Côte d'Ivoire, c'est le *C. canephora* qui est utilisé. Le résultat est spectaculaire avec l'espèce *C. congensis* car seuls les plants greffés survivent après plantation en champ. Les plants « franc de pied » après un développement normal se montrent chlorotiques et meurent à plus ou moins brève échéance. Par contre, même greffée l'espèce *C. fadenii* ramenée du Kenya ne montre qu'un développement ralenti et anormal, alors que, dans son site d'origine, cette espèce a un développement important et que le plus grand caféier trouvé en prospection provient de ce peuplement (35 cm de diamètre, 20 mètres de hauteur).

B. LES COLLECTIONS D'ÉTUDE

La mise en place des collections de conservation a pour principal objectif de sauvegarder le matériel. Les conditions dans lesquelles il est placé ne sont favorables ni à la floraison ni à la fructification. En outre la mise en place se fait dans un milieu qui est loin d'être homogène. Des notations de type biométrique n'auraient que peu de valeur du fait de l'impossibilité d'une analyse statistique des résultats. Aussi l'évaluation et l'utilisation du matériel végétal sont-elles entreprises sur des collections d'un autre type: il s'agit des collections d'études.

— Chez les caféiers, chaque année, les floraisons sont peu nombreuses. En outre la mise à fleur des caféiers nécessite habituellement de 2 à 4 ans. L'un des facteurs limitant dans l'étude des relations des espèces de caféiers entre elles est le nombre de combinaisons hybrides réalisables chaque année. En constituant des collections d'un petit nombre d'individus des différentes populations prospectées, greffés sur porte greffe vigoureux déjà en place il est possible d'accélérer la mise à fleur et donc d'entreprendre le travail d'hybridation plus rapidement. Ces plantes ayant une croissance plus importante, il est possible d'obtenir un nombre supérieur de

combinaisons hybrides par géniteur utilisé. Il est bien évident que, si l'on dispose d'informations sur les différentes populations, celles-ci devront être utilisées pour le choix des individus à installer dans ce type de collections.

Les informations de type biométrique et les renseignements de type agronomique s'obtiennent à partir de collections ou essais particuliers. Pour cela, les effets du milieu doivent être mesurés (cela est possible si chaque génotype est implanté plusieurs fois dans la même parcelle). Malheureusement, ces essais nécessitent de grandes superficies et un personnel nombreux pour la collecte des données. Ils ne peuvent être envisagés de façon systématique pour toutes les espèces.

Les informations recueillies dans ces collections permettent de modifier les collections de base de façon à diminuer le nombre de plantes de la collection sans perdre pour autant une variabilité importante. Nous verrons dans le prochain chapitre, les techniques utilisées pour l'analyse de la variabilité et des relations entre espèces.

C. GESTION ET ÉCHANGES DES COLLECTIONS

On ne doit pas considérer les collections comme « figées ». En fait les collections ne sont jamais définitives. D'une part un certain nombre d'arbres disparaissent par suite d'accidents divers allant de l'attaque d'insectes jusqu'aux coups de machette au cours du nettoyage des parcelles. Une surveillance constante peut permettre de récupérer à temps des greffons et « sauver » ainsi la plante endommagée. D'autre part chaque prospection apporte son lot d'espèces nouvelles qu'il convient de stocker. Cela suppose des observations quasi permanentes pour trouver la bonne technique pour la conservation de chaque espèce. On dispose de techniques moyennes qu'il convient d'adapter à chaque espèce, en fonction de sa vigueur, de sa possibilité de culture sans ombrage...

On peut considérer qu'il s'agit d'une véritable gestion car il convient de conserver le maximum de variabilité de chaque espèce tout en essayant d'augmenter au maximum le nombre des espèces en collection. Pour cela il est nécessaire de tenir compte de toutes les informations obtenues en aval de la collection par les différentes analyses poursuivies. Toutes ces informations permettent de raisonner le choix des arbres à conserver.

L'enrichissement d'une collection peut se faire aussi par échanges avec d'autres collections. Pour cela il faut disposer de techniques permettant la conservation du matériel pendant les transferts.

Chez les caféiers, les études récentes ont porté sur la conservation des graines et des pollens (VAN DER VOSSSEN, 1978 et WALYARD et al. 1977 au Kenya pour graines et pollens, COUTURON, 1980 en Côte d'Ivoire pour les graines). Les résultats obtenus montrent qu'il est possible de conserver le pouvoir germinatif des graines au-dessus de 90%, pendant 1 à 2 ans selon les espèces, en les maintenant suffisamment hydratées. Les échanges de graines sont donc parfaitement réalisables.

Les résultats sont aussi encourageants pour la conservation des grains de pollen. En ampoule, sous vide, à -18°, les grains de pollen peuvent se conserver un an environ. Les ampoules doivent être utilisées un mois, au

plus tard après leur sortie du congélateur. Les échanges de pollen de caféiers sont donc envisageables.

Les techniques de conservation du bois de greffe utilisées au cours des prospections sont applicables pour les échanges de matériels entre collections.

On voit donc que l'on dispose de toutes les techniques pour que les échanges entre les différentes collections de caféiers puissent être réalisés dans de bonnes conditions.

IV. L'ÉVALUATION DU MATÉRIEL VÉGÉTAL

Pour les caféiers, l'évaluation du matériel végétal de prospection a été organisée de la façon suivante:

— *Etude de la variabilité générale**

- Etudes biométriques sur le matériel original
- Etudes biométriques sur les descendances de ces arbres
- Analyse de la variabilité enzymatique et des ADN mitochondriaux
- Tests d'aptitude à la combinaison interspécifique.

Ces études générales permettent de définir les limites du complexe multispécifique des caféiers et la diversité existante. A partir de ces études, on peut décrire les modalités de transfert de gènes d'une espèce à l'autre.

— *Etude de quelques caractéristiques particulières*

Des études complémentaires sont réalisées sur des caractères pouvant intéresser directement la sélection, c'est-à-dire, sur des caractéristiques à transférer en priorité dans des variétés intéressantes. Il s'agit de: la résistance aux maladies: à la rouille, à l'antracnose et de la teneur en caféine

A. ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ GÉNÉRALE

1. Etudes biométriques à partir du matériel de prospection

Plusieurs méthodes permettent une présentation synthétique des résultats de séries d'observations sur un ensemble de plantes. Nous donnerons simplement quelques exemples concernant l'étude des caféiers.

a. Analyse en composantes principales

Les observations ont été faites sur le matériel *C. arabica* en collection provenant des prospections en Ethiopie. Les caractères choisis pour les mesures concernent l'architecture des arbres et ses caractéristiques de croissance. Pour les résultats complets, nous renvoyons à BERTHOU et al. in IFCC, 1978 dont nous extrayons la figure 17.

L'utilisation d'autres caractères permet aussi de classer les arbres selon l'équilibre de leur charpente, c'est-à-dire le rapport entre la croissance des rameaux piagiotropes et rameaux orthotropes. Ainsi, on distingue les arbres à croissance orthotrope préférentielle (port en candélabre) des arbres

* Les méthodologies statistiques employées ici sont décrites Partie II chapitre III.

ayant des rameaux plagiotropes bien développés et en général meilleurs producteurs*.

Les origines ayant une provenance identique sont reliées entre elles sur la figure présentée. On peut voir apparaître une différenciation géographique des origines prospectées.

Nous ne présentons qu'une figure, mais l'analyse en composantes principales permet d'obtenir une projection, sur un système d'axes, des points correspondants aux différents arbres mesurés.

b. Utilisation d'un indice de proximité pour étudier les différences entre origines

L'étude de la variabilité de la collection *C. arabica* à partir de variables qualitatives a été faite de la façon suivante (BERTHAUD, PERNES, in I.F.C.C., 1978).

Sur les arbres de la collection du Tonkoui, trente caractères ont été notés; certains reprennent sous forme codée des caractéristiques qualitatives liées au développement végétatif; les autres caractères apportent des informations nouvelles sur l'aspect des feuilles et des fruits. Nous donnons dans le tableau 17 la liste des caractères et leur notation.

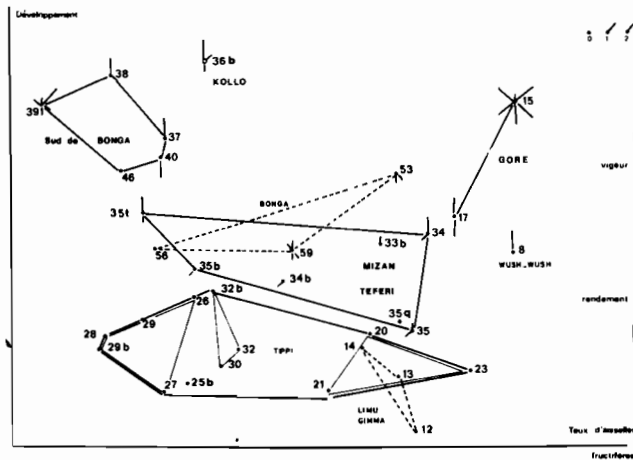


Figure 17: Données d'une analyse en composantes principales à partir de 5 caractères. Les deux premiers axes qui servent à la représentation ci-dessus peuvent avoir les interprétations qualitatives suivantes:

abscisses: taux de rendements fructifères (prépondérance du caractère de la variable 5 dans le sens positif, et de la variable 3 dans le sens négatif.

ordonnées: aspect global du développement, valeur positive indiquée équivalente pour les 5 variables.

Chaque point est orné des symboles définis dans la légende ce qui permet de visualiser les origines les plus intéressantes du point de vue vigueur à la production (notamment les origines 15 et 36b). Les origines sont repérées par leur numéro (BERTHOU et al., in I.F.C.C., 1978).

* Il est bien évident que les progrès dans les moyens de calcul de faibles dimensions permettraient maintenant d'analyser simultanément davantage de caractères. Il est pédagogiquement intéressant de montrer comment, en l'absence de moyens de calcul puissants, il est malgré tout possible d'acquérir, de proche en proche, des descriptions satisfaisantes.

TABLEAU 17

Caractères qualitatifs et leurs notations (BERTHAUD et al. in I.F.C.C., 1978)

Aspect	Caractère	Notation		
		0	1	
Aspect général	1 - Hauteur (m)	$\frac{< 1,5}{0} \mid \frac{1,5 - 2}{1} \mid \frac{2 - 2,5}{2} \mid \frac{2,5 - 3}{3} \mid \frac{3 - 3,5}{4}$		
	2 - Diamètre au collet (cm)	$\frac{< 6}{0} \mid \frac{6 - 10}{1} \mid \frac{10 - 15}{2} \mid \frac{15 - 20}{3}$		
	3 - Nombre de tiges	$\frac{1}{0} \mid \frac{2 - 3}{1} \mid \frac{4}{2}$		
	4 - Port érigé	$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		
	5 - Angle de ramification	$\frac{\text{ouvert}}{0} \mid \frac{\text{fermé}}{1}$		
	6 - Diamètre du rameau plagiotrope	$\frac{\text{fin}}{0} \mid \frac{\text{épais}}{1}$		
	7 - Equilibre orthotrope-plagiotrope	$\frac{\text{ortho}}{0} \mid \frac{\text{ortho} = \text{ortho}}{1}$		
	8 - Nombre de rameaux plagiotropes	$\frac{\text{peu}}{0} \mid \frac{\text{beaucoup}}{1}$		
	9 - Nombre de feuilles sur le rameau plagiotrope	$\frac{\text{peu}}{0} \mid \frac{\text{beaucoup}}{1}$		
	10 - Dimension de l'entre-nœud	$\frac{\text{court}}{0} \mid \frac{\text{long}}{1}$		
	11 - Nombreuses ramifications sur plagiotrope	$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		
Feuilles	12 - Couleur	$\frac{\text{vert}}{0} \mid \frac{\text{jaune}}{1} \mid \frac{\text{vert}}{2} \mid \frac{\text{vert-noir}}{3}$		
	13 - Dimensions (taille)	$\frac{\text{petites}}{0} \mid \frac{\text{moyennes}}{1} \mid \frac{\text{grandes}}{2}$		
	14 - Forme L/l	$\frac{\text{ovale}}{0} \mid \frac{\text{large}}{1} \mid \frac{\text{elliptique}}{2} \mid \frac{\text{allongé}}{3}$		
	15 - Port	$\frac{\text{horizontales}}{0} \mid \frac{\text{pendantes}}{1}$		
	16 - Bord ondulé	$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		
	17 - Surface gaufrée	$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		
	Fruites	18 - Fructification sur le vieux bois	$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$	
		19 - Longueur du pédoncule	$\frac{\text{court}}{0} \mid \frac{\text{long}}{1}$	
		20 - Maturité groupe	$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$	
		21 - Précocité de la maturité	$\frac{\text{précoce}}{0} \mid \frac{\text{normale}}{1} \mid \frac{\text{tardive}}{2}$	
22 - Couleur à maturité		$\frac{\text{orange}}{0} \mid \frac{\text{vermillon}}{1} \mid \frac{\text{pourpre}}{2}$		
23 - Aspect de la coloration en cours de maturation		$\frac{\text{uni}}{0} \mid \frac{\text{veiné}}{1}$		
24 - Profil symétrique		$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		
25 - Rapport diamètre/hauteur		$\frac{< 1}{0} \mid \frac{1}{1} \mid \frac{1 > 2}{2}$		
26 - Section		$\frac{\text{circu-}}{0} \mid \frac{\text{ovale}}{1} \mid \frac{\text{rectan-}}{2} \mid \frac{\text{en huit}}{3}$		
27 - Dimensions (taille)		$\frac{\text{petits}}{0} \mid \frac{\text{moyens}}{1} \mid \frac{\text{grands}}{2}$		
28 - Drapeau - saillant		$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		
29 - Drapeau - taille		$\frac{\text{petit}}{0} \mid \frac{\text{grand}}{1}$		
30 - Drapeau - sépales persistants		$\frac{\text{non}}{0} \mid \frac{\text{oui}}{1}$		

L'indice de similitude utilisé est le suivant :

$$r_{ij} = \frac{m_{ij}}{n}$$

où « n » est le nombre de caractères observés et « m_{ij} » le nombre de caractères qui ont le même état dans les origines i et j. Dans cette première analyse, quand pour une origine il existe une diversité pour un caractère, seul un type est utilisé pour représenter l'origine, et c'est bien entendu le même dans toutes les comparaisons. Les valeurs des ressemblances des origines notées sont données dans le tableau 18.

Les origines analysées ici sont celles dont l'étude des descendance en pollinisation libre est réalisée dans la troisième partie. L'origine 5 est représentée par un hors-type très particulier.

TABLEAU 18

Indices de similitude r_{ij} exprimés en pourcentage entre dix-sept origines éthiopiennes de *C. arabica* (BERTHAUD et al., in I.F.C.C., 1978-).

Ar 6	8	13	15	17	20	21	23	26	27	29	30	32	34	35	40	Origine
64	48	64	64	56	52	32	48	44	52,2	52	45,8	48	43,8	52	45,8	Ar 5
	64	72	68	56	64	56	48	48	56,5	48	54,2	54	39,1	52	50	Ar 6
		80	68	64	64	56	52	60	56,5	52	45,8	68	47,8	68	50	Ar 8
			80	68	60	48	40	64	56,5	56	33,3	56	60,9	76	58,3	Ar 13
				88	72	52	60	52	78,3	52	58,3	60	60,9	68	54,2	Ar 15
					76	52	64	56	65,2	48	62,5	52	56,5	56	41,7	Ar 17
						56	60	56	60,9	64	62,5	64	47,8	48	33,3	Ar 20
							60	60	60,9	52	70,8	64	47,8	30	62,5	Ar 21
								52	73,9	60	79,2	68	52,2	52	62,5	Ar 23
									47,8	84	58,3	64	52,2	60	50	Ar 26
										60,9	73,9	60,9	66,7	69,6	68,2	Ar 27
											58,3	68	47,8	60	50	Ar 29
												70,8	54,5	58,3	69,6	Ar 30
													39,1	60	50	Ar 32
														73,9	69,6	Ar 34
															79,2	Ar 35

La figure 18 donne la classification obtenue par dendrogramme. Cette classification est à comparer avec les caractéristiques de différenciation phénotypique notées à partir des analyses en composantes principales précédentes.

1) On retrouve un certain regroupement géographique, soit étroit: Goré (15 et 17), les sous-groupes de Tippi-Aéroport (21-23-30-32) et Tippi-Goré (26 et 29), Mizan-Teferi (34 et 35), soit large: opposition de l'ensemble des prospections nord et est (Wush-Wush et Limu-Gimma) au groupe de Tippi, Mizan-Teferi.

Cette dernière opposition coïncide avec la délimitation entre les origines faiblement productives (Tippi, Mizan-Teferi) et celles où des productions intéressantes, plus directement exploitables, ont été enregistrées.

2) Dans une même zone, il est possible d'obtenir une diversité assez large. Ainsi le groupe de Tippi et les formes de Wush-Wush (8-40) qui s'étaient également largement dans les graphiques des composantes principales du chapitre précédent (fig. 17) sont remarquablement différenciées. La présence de hors-types dans la provenance 5 est aussi l'expression de cette diversité.

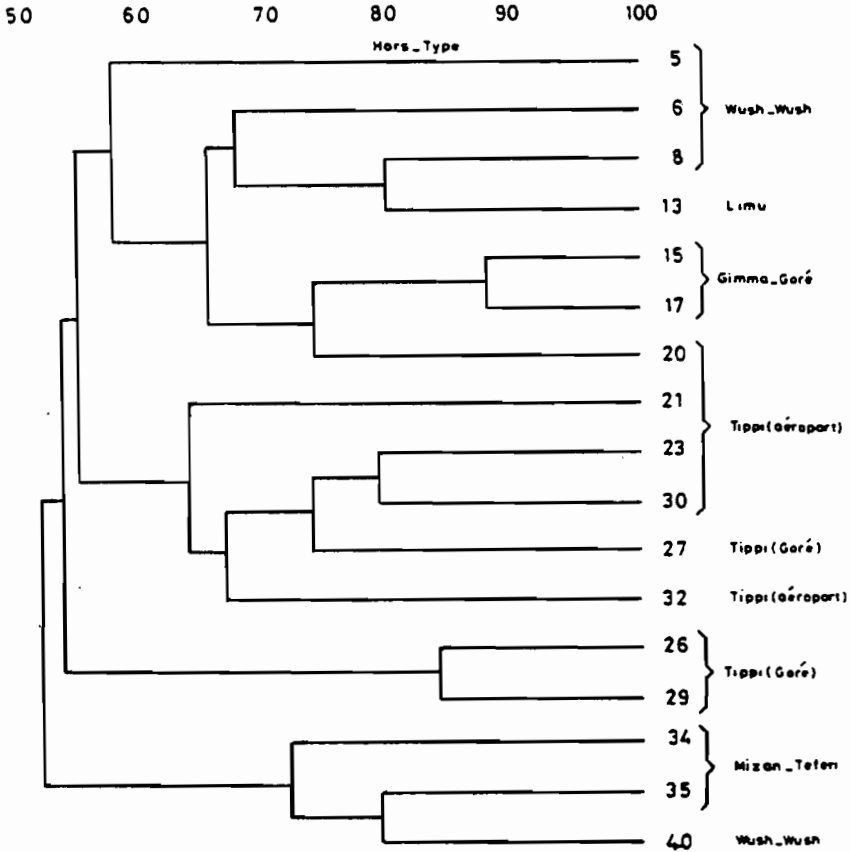


Figure 18 : Classification des origines éthiopiennes lues sur le dendrogramme. (BERTHAUD et al. in I.F.C.C., 1978).

2. Etudes biométriques des descendance des arbres en collection

La technique utilisée est celle de l'analyse de variance hiérarchisée. Cette méthode peut être employée chaque fois qu'il existe plusieurs niveaux de comparaison: comparaison entre populations, comparaison entre arbres d'une même population, comparaison entre les descendants d'arbres d'une population. Cette méthode a été appliquée à *C. arabica*. Nous ne disposons pas vraiment de populations différentes mais d'échantillons provenant de différentes régions d'Ethiopie. Nous appelons « origine » l'échantillon de graines récoltées sur un arbre en prospection. Cette origine est représentée ensuite en collection par les plantes issues de ces graines. Sur une partie de ces plantes on reprend des graines. Les plantules correspondantes sont alors mises en essai en ombrière. Les analyses sont faites à 2 niveaux:

	Matériel	Localisation
niveau 1: origine	plantes provenant des graines récoltées en Ethiopie sur un même arbre	Collection
niveau 2: famille	plantules provenant des graines récoltées sur un même arbre d'une origine	essai sur plantules en ombrière

Les essais ont été réalisés avec 10 à 20 origines différentes et 4 ou 5 familles par origine. Chaque famille est constituée de 20 plantules. Les résultats ont été publiés par REYNIER et par LOUARN in I.F.C.C., 1978. Les caractères mesurés par ce dernier auteur sont:

- la hauteur de l'hypocotyle au moment du repiquage (Hh);
- les délais d'apparition de la troisième paire de feuilles à compter du jour de repiquage (T f3);
- les délais d'apparition de la quatrième paire de feuilles (T f4);
- l'intervalle de temps entre l'apparition de ces deux paires de feuilles ΔT (f4, f3);
- la hauteur foliée (hypocotyle non compris) au moment de l'apparition de la quatrième paire de feuille (H f4);
- la hauteur foliée cent deux jours après le repiquage (H f102);
- le nombre de nœuds cent deux jours après le repiquage (N 102);
- l'accroissement du nombre de nœuds en soixante jours ($\Delta N60$).

Nous présentons quelques-unes de ses conclusions concernant les variations interfamilles: « Les variations interfamilles dans les origines sont pour la plupart très hautement significatives. »

« Les niveaux de signification des différences entre familles sont rassemblés par origine et par caractère dans le tableau 19. D'une façon générale l'hétérogénéité est flagrante pour les trois premiers caractères. Elle se retrouve de façon plus nuancée au niveau:

- des hauteurs foliées et des accroissements de hauteur (6, 13, 20, 29, 36b):



Caféier *C. canephora* en collection à DIVO



C. eugenioides dans la Kimilili forest (Kenya) à 220 m d'altitude

- des accroissements de hauteur et du nombre de nœuds (21, 26),
- des hauteurs foliées (15).

on ne la retrouve pas pour les cinq derniers caractères chez l'origine 23.

L'existence de différences significatives entre familles d'une même origine révèle l'hétérogénéité génotypique des individus constituant ces origines et par voie de conséquence celle des pieds mères récoltés en Ethiopie.

La comparaison des variances dues aux origines, aux familles et aux variations résiduelles est résumée dans le tableau 20. Suivant les caractères, la variance interfamilles représente entre 2/5 et 1/30 de la variance inter-origines. La variabilité liée à l'hétérozygotie n'est donc pas négligeable.»

TABLEAU 19

(LOUARN in I.F.C.C., 1978)

Origine Ar	Hh	Tf ₃	Tf ₄	$\Delta T(f_4, f_3)$	H f ₄	H f ₁₀₂	N ₁₀₂	ΔHf_{60}	ΔN_{60}
6	+++	+++	+	NS	+	+++	NS	++	NS
13	+++	+++	+++	NS	+++	+++	NS	+	+
15	+++	++	+	NS	++	+	NS	NS	NS
20	+	+	NS	NS	+++	+++	NS	+	NS
21	++	+	++	NS	NS	NS	NS	++	+
23	++	+	+++	+	NS	NS	NS	NS	NS
26	++	++	+++	++	NS	NS	NS	+++	+++
29	++	++	+++	++	+++	NS	NS	+++	+++
36b	NS	++	+	NS	+++	NS	++	+++	NS

Niveau de signification des variations entre familles par origine et par caractère.
Effet significatif au seuil: + 5%, ++ 1%, +++ 1‰.

TABLEAU 20

Variances interorigines (σ_0^2), interfamilles (σ_f^2) et résiduelles (σ_e^2) — (analyse de variance hiérarchisée Cf. Tome 2).

(LOUARN in I.F.C.C., 1978)

Caractères	Valeurs absolues			% variance totale		
	σ_0^2	σ_f^2	σ_e^2	σ_0^2	σ_f^2	σ_e^2
Hf	37,36	12,41	61,16	33,7	11,2	55,1
Tf3	3,52	0,72	1,63	60,0	12,3	27,7
Tf4	7,62	1,30	1,82	70,9	12,2	16,9
$\Delta T(f_4, f_3)$	0,78	0,04	0,64	53,5	2,7	43,8
Hf4	121,60	13,13	70,79	59,2	6,4	34,4
Hf 102	24,16	9,88	49,98	28,8	11,7	59,5
N 102	0,121	0,004	0,081	58,8	1,9	39,3
ΔHf_{60}	741,08	35,43	170,96	78,2	3,7	18,1
ΔN_{60}	0,17	0,01	0,14	53,1	3,1	43,8

Il est intéressant de voir que dans la variance totale observée une grande part provient de la variance interorigines. La conséquence directe de cette conclusion est que chez l'espèce *C. arabica* il convient de prospecter un nombre d'origines important car la variabilité obtenue dans les descendance ne peut être considérée que comme facteur subsidiaire. C'est une conclusion presque inverse de celle qui est déduite de l'observation des populations d'espèces diploïdes allogames.

Cette méthode qui fait appel à des notions statistiques simples permet d'obtenir des informations intéressantes sur la constitution des populations. Son efficacité est très fortement liée à la valeur du schéma de prospection utilisé; c'est-à-dire en fait à la valeur de l'échantillonnage des populations prospectées.

3. Analyse de la variabilité par des méthodes biochimiques

Le principe de la méthode est exposé dans le tome 2. Chez les caféiers les études ont été menées sur 3 puis 8 enzymes. Il a pu être mis en évidence les zones de variations de chaque espèce. Dans une même espèce certaines bandes se retrouvent très fréquemment (> 90%). Ces bandes sont considérées comme caractéristiques de l'espèce.

D'une espèce à l'autre, la richesse isozymique est différente et ce ne sont pas les mêmes systèmes enzymatiques qui ont la variabilité maximum.

Ces quelques résultats rappelés nous présenterons les types d'études menés chez le caféier à l'aide de cette méthode d'analyse. Les résultats rapportés concernent essentiellement les travaux de BERTHOU (1977, 1980).

a. Etudes qualitatives

1. Recherche de la parenté de *C. arabica*, espèce supposée allopolyploïde. On constate que, pour reconstituer le zymogramme complet de *C. arabica* pour les systèmes Estérases, Malate Déshydrogénase et Phosphatase acide, il faut faire intervenir *C. eugenioides*, d'une part, et le groupe *C. canephora*, *C. congensis*, *C. liberica* d'autre part (figures 19 et 20). Sans pour autant apporter des preuves définitives, cette technique permet d'apporter des arguments dans la filiation des espèces et donc des informations sur l'organisation de ce complexe multispécifique.

2. On a cherché à regrouper les espèces en fonction de leurs zymogrammes. Pour cela, on a utilisé l'analyse factorielle des correspondances pour comparer les profils enzymatiques de plusieurs espèces. Dans cette analyse, chaque électromorphe est considéré comme un caractère avec 2 états: présence-absence.

Il ressort de cette analyse que chaque espèce, représentée par un nuage de points, est bien séparée des autres. Les distances entre espèces sont différentes et l'on peut se rendre compte de l'organisation spatiale de ces différences. A l'intérieur de chaque espèce, on peut voir l'importance de la diversité introduite par chaque population (BERTHOU, en préparation).

b. Etudes quantitatives :

Etude de la distance génétique entre espèces de caféiers.

La distance génétique, définie dans le tome 2, a été calculée pour quelques espèces de caféiers diploïdes: BERTHOU et al. (1980) déduisent les valeurs d'identité génétique pour 8 systèmes enzymatiques étudiés qui correspondent aux distances entre les espèces ci-dessous :

2	3	4	1	<i>C. canephora</i> (Centrafrique (Libengué))
0,39	0,19	0,53	2	<i>C. canephora</i> Côte d'Ivoire (Ila)
	0,23	0,70	3	Caféier de la Nana
		0,50	4	<i>C. congensis</i>

Ce tableau des distances génétiques permet de construire un graphique cohérent des relations entre *C. canephora*, *C. congensis* et la position originale de caféier de la Nana (figure 21).

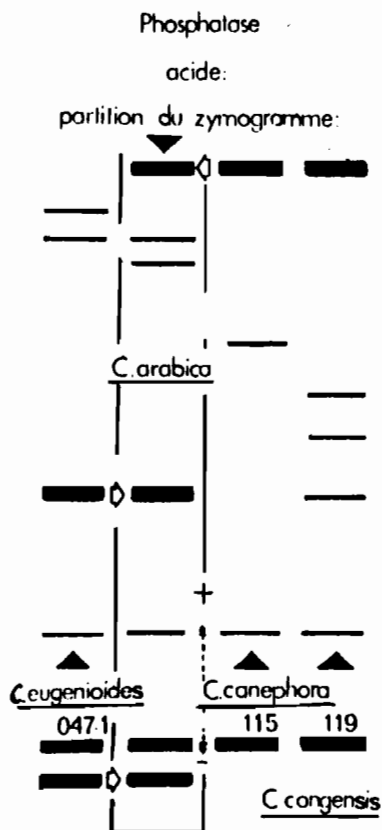


Figure 19: Types électrophorétiques Phos. A de 4 espèces: *C. eugenioides*, *C. arabica*, *C. canephora*, *C. congensis*. (BERTHOU, 1977).

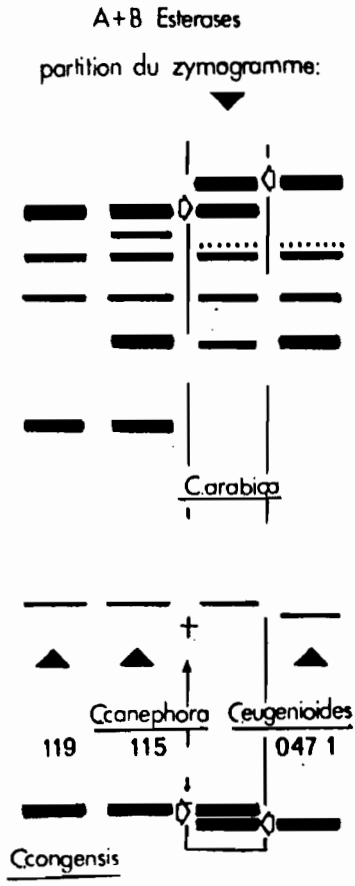


Figure 20: Types électrophorétiques Est. A et B de 4 espèces *C. congensis*, *C. canephora*, *C. arabica*, *C. eugenioides* (BERTHOU, 1977).

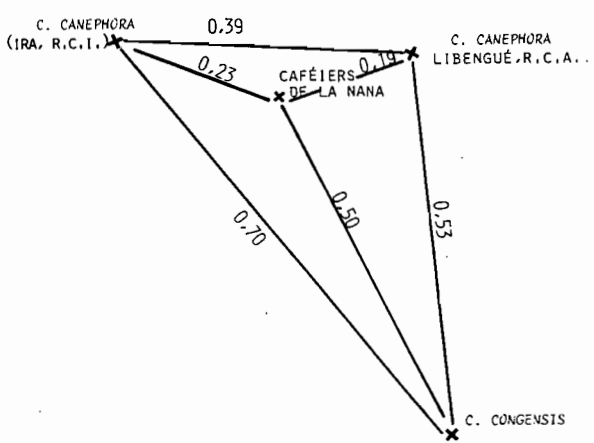


Figure 21: Distances génétiques entre différents groupes de caféiers (d'après données de BERTHOU et al. 1980).

c. Etudes génétiques

Toutes les situations examinées précédemment peuvent paraître complexes dans la mesure où le déterminisme des bandes n'est pas connu. Par contre, dès que celui-ci le sera, des situations exemplaires pourront être étudiées et apporter des informations sur les séquences géniques, le régime de reproduction (panmixie ou écart à celle-ci...).

L'identification de certains gènes étant réalisée, ils pourront être utilisés comme marqueurs dans les populations de caféiers. On pourra donc tester des modèles de génétique des populations, situation irréalisable si on voulait utiliser des marqueurs morphologiques, ceux-ci étant rapidement disponibles dans les populations naturelles. Cette voie semble intéressante à développer.

d. Les principaux problèmes de ce type d'analyse

— La mise en évidence des bandes.

Il semble que, pour les enzymes étudiées, les différentes parties de la plante aient des expressions identiques, avec toutefois une baisse d'activité dans les tissus âgés. Il a été décidé de prélever pour l'analyse uniquement des jeunes feuilles. Le prélèvement de cette partie de la plante peut s'appliquer aussi bien à de jeunes plants qu'à des arbres adultes.

La définition d'une méthode d'analyse standard est plus délicate. En effet selon le pH du milieu de migration et évidemment la durée de l'électrophorèse, on assiste à un étalement ou à un resserrement des bandes. Ceci peut amener dans certains cas à confondre certaines bandes migrant de façon presque identique. Aussi des modifications du protocole expérimental peuvent s'accompagner de l'apparition de nouvelles bandes ou au contraire du regroupement de plusieurs bandes (BERTHAUD et al. à paraître).

— La correspondance des bandes d'une espèce à l'autre.

Des bandes migrant à la même vitesse mais appartenant à des espèces différentes peuvent-elles être considérées comme identiques? On est ramené au problème précédent car par de légères modifications du pH par exemple il serait peut-être possible de faire apparaître une différence entre bandes considérées jusqu'alors comme identiques.

— La valeur de l'échantillonnage du matériel soumis à l'analyse détermine directement la valeur des résultats obtenus et surtout la possibilité d'extrapolation des résultats. Ce problème souligne l'intérêt qu'il faut porter au type d'échantillonnage réalisé lors de la prospection de ces caféiers.

La variabilité des A.D.N. mitochondriaux

Cette méthode est rapportée ici car bien que nous disposions de peu de résultats elle semble un outil du plus grand intérêt. Après extraction des mitochondries, l'A.D.N. est soumis à l'action d'une enzyme de restriction. Les différents segments obtenus sont séparés par électrophorèse.

Les résultats actuels (BERTHOU et al., 1980/1983) montrent qu'il existe une grande similitude entre *C. eugenioides* et *C. arabica*, tandis que les A.D.N. mitochondriaux de *C. canephora*, *C. congensis* et *C. liberica* sont très différents. Pour juger de la valeur de ces résultats, il conviendra d'analyser d'autres espèces pour les situer les unes par rapport aux autres.

Cette méthode a déjà été appliquée à d'autres plantes comme le Soja par exemple (SISJON et al., 1978). Il semble qu'à l'intérieur d'une même espèce les images observées soient très stables.

4. Les tests d'aptitude à la combinaison interspécifique

Nous incluons dans ce paragraphe tout ce qui concerne les relations entre les différentes espèces, informations déduites des croisements interspécifiques. Nous présenterons très brièvement les critères utilisés dans l'analyse des croisements, les principales limitations aux échanges génétiques entre espèces et nous essayerons de voir l'importance relative du choix des espèces et des géniteurs dans ces espèces pour la réussite des croisements interspécifiques. La réussite des croisements se situe à deux niveaux. Dans une première phase, d'orientation, il faut obtenir des hybrides viables, dans une deuxième phase, de sélection, il faut obtenir des hybrides fertiles (bons producteurs).

Les critères utilisés :

— le taux de réussite des croisements.

On l'exprime par le nombre de fruits obtenus pour 100 fleurs, par le nombre de graines obtenues pour 100 fleurs ou encore par le nombre d'hybrides viables pour 100 fleurs. Il s'agit là d'une donnée synthétique qui recouvre plusieurs phénomènes puisque un mauvais taux de réussite peut être dû à une incompatibilité interspécifique, à un mauvais développement des albumens ou des embryons, à des gènes léthaux s'exprimant au stade plantule.

— la fertilité mâle estimée par la viabilité du pollen.

La viabilité du pollen se mesure de façon classique par le pourcentage de grains à cytoplasme coloré. Différentes colorations peuvent être utilisées : carmin acétique, Alexander, tétrazolium (GRASSIAS, 1977, 1980).

— la fertilité femelle est estimée par le taux de graines caracoli (provenant de fruits à une seule loge pleine) et le taux de loges vides (albumen avorté). On compare en fait le nombre de graines que produit un hybride au nombre de fleurs qu'il porte.

— le comportement méiotique des hybrides. On estime les paramètres suivants :

- le nombre moyen des différentes associations chromosomiques par cellule mère des grains de pollen (CMP) ;
- la proportion de cellules mères à appariement normal (11 bivalents) ;

Ces observations ont une valeur explicative intéressante car, dans un grand nombre de cas, on trouve une liaison entre la régularité de la méiose et la fertilité pollinique (LOUARN, 1976, 1977, 1980 ; LANAUD, 1979).

Les limitations des échanges génétiques

— niveaux de ploïdie différents : on sait la place à part qu'occupe *C. arabica* par son niveau de ploïdie.

Les croisements entre *C. arabica* et une espèce diploïde ont un taux de réussite normal si l'on ne tient compte que des embryons. Le problème vient du développement incomplet des albumens des graines hybrides. Le taux de germination est cependant bon et les plantules sont très vigou-

reuses. Par contre, la fertilité mâle et femelle des hybrides triploïdes obtenus est pratiquement nulle. La limitation aux échanges génétiques entre espèces de caféiers à niveaux de ploïdie différents est due à une quasi-stérilité des hybrides triploïdes obtenus. Une amélioration est possible en utilisant des géniteurs tétraploïdisés des espèces diploïdes dans les combinaisons avec *C. arabica*. Dans ces combinaisons, le taux de grains de pollen colorés au carmin acétiqùé est de 20 à 80%. Au sein de ces hybrides, il a été possible de trouver des arbres dont la fertilité est suffisante pour une utilisation agronomique: les arabusta (CAPOT, 1972, BERTHAUD, 1977, 1978). Une autre méthode pour obtenir des hybrides fertiles est de doubler le nombre de chromosomes des hybrides triploïdes. Le taux de grains de pollen colorés au carmin passe de 0 à quelques pourcents chez les hybrides triploïdes, à 50-90% chez les hybrides hexaploïdes (BERTHAUD, 1978).

Selon les combinaisons les comportements sont très différents après repiquage. Chez les arabusta dans certaines combinaisons, l'ensemble des plantes a un bon comportement. Avec d'autres géniteurs les plantules sont bloquées au stade feuilles cotylédonnaires avec parfois quelques plantules à croissance normale. Dans d'autres cas les plantules ont une croissance très lente.

Après la première génération d'hybrides les échanges génétiques restent possibles et la diversité des méthodes employables est très importante, les hybrides pouvant être recroisés avec les parents à différents niveaux de ploïdie, autofécondés... Ces méthodes sont utilisées quand il s'agit de transférer quelques gènes de résistance aux maladies de l'espèce *C. canephora* par exemple, aux variétés cultivées de *C. arabica* (MONACO et CARVALHO, 1975; VAN DER VOSSSEN et WALYARO, 1980). — A un même niveau de ploïdie.

Au niveau 2x les croisements entre espèces donnent des résultats très variés selon les géniteurs et les espèces utilisées.

Le taux de réussite d'une même combinaison est variable d'une année à l'autre sous l'influence des conditions extérieures, tant climatiques, qu'opératoires.

Les résultats ne sont pas toujours identiques dans les deux sens du croisement. Avec *C. canephora* dans une combinaison interspécifique les résultats sont moins bons quand cette espèce est utilisée comme géniteur femelle.

Dans une même espèce le comportement n'est pas identique d'un géniteur à un autre. Chez *C. liberica* certains arbres n'acceptent aucun pollen d'autres espèces mais ils ne sont pas stériles car laissés en fécondation libre avec d'autres arbres de la même population ils portent des fruits. Ces arbres viennent de la prospection de Centrafrique. D'autres arbres, tout particulièrement ceux provenant des prospections de Côte d'Ivoire, acceptent les pollens de toutes les espèces. L'analyse de ces différentes situations est en cours (LOUARN, 1979).

Certains caféiers de la Nana donnent des descendance dont la majorité des plantules a des feuilles « frisées » tant dans les combinaisons avec *C. canephora* qu'avec *C. congensis*.

La fertilité des hybrides obtenus est très variable. Dans un même croisement, il est possible de trouver des arbres suffisamment fertiles et des arbres très stériles (LOUARN, 1980).

— Le comportement méiotique et la fertilité des hybrides.

Nous reprenons ici une partie des conclusions présentées par CHARRIER au 8ème colloque de l'ASIC (1977):

Les affinités entre espèces diploïdes (tableau 21)

Chez les *Eucoffea* diploïdes, la réussite des croisements entre espèces appartenant au même groupe botanique s'apparente souvent à celle des croisements intraspécifiques. A titre d'exemple, citons les combinaisons *C. liberica* × *C. dewevrei*, chez les *Pachycoffea* et *C. canephora* × *C. congensis* chez les *Erythrocoffea*. Leurs hybrides F1 vigoureux présentent, comme les espèces parentes, 11 bivalents dans la plupart des cellules-mères. Leurs fertilités élevées autorisent la sélection directe de plantes intéressantes.

TABLEAU 21

— Comportement méiotique des hybrides F1 entre espèces de *Coffea* diploïdes (2n = 22 chromosomes). D'après CHARRIER (1977).

Hybrides interspécifiques	Associations chromosomiques		% CMP à 11 II	FP	Auteurs
	I	II			
<i>C. canephora</i> × <i>C. congensis</i> <i>C. liberica</i> × <i>C. dewevrei</i>	0,04 à 0,74 0,20 à 0,52 méiose normale (RHOADES)	10,63 à 10,98 10,74 à 10,90		élevée 89 à 93 élevée	LELIVELD, 1940 CHARRIER, 1976 CARVALHO et MONACO, 1968
<i>C. canephora</i> × <i>C. canephora</i> × <i>C. liberica</i>	1,44 0,30 à 1,40	10,28 9,93 à 10,66		moyen 39	LELIVELD, 1940 CHINNAPPA, 1970
<i>C. canephora</i> × <i>C. neo-arnoldiana</i> <i>C. canephora</i> × <i>C. eugenioides</i> <i>Liberio-excelsoïdes</i> × <i>C. eugenioides</i>	1,16 à 1,20 1,30 à 2,22 souvent 2 I 1,28 à 1,64	10,40 à 10,42 9,89 à 10,35 10,18 à 10,36	50 à 58 23 à 44 42 à 48	64 43 35	LOUARN, (inédit) LOUARN, 1976 VISVESHWARA, 1963 LOUARN (inédit)
<i>C. canephora</i> × <i>C. kapakata</i>	1,50	10,25		moyen	LELIVELD, 1940
<i>C. canephora</i> × <i>C. lancifolia</i> <i>C. canephora</i> × <i>C. resinosa</i> <i>C. canephora</i> × <i>C. sp. A311</i>	3,20 4,40 à 6,40 5,04	9,40 7,80 à 8,80 8,48	8 4	8 6	CHARRIER, 1976

Tous les croisements réalisés avec 26 taxons de *Mascarocoffea* donnent de nombreux hybrides F1, vigoureux même quand il s'agit d'espèces très différentes appartenant à des groupes botaniques distincts. Les taux de réussite dépassent couramment 10 hybrides pour 100 fleurs. Les 4 pre-

miers hybrides F1 étudiés présentent, comme leurs parents, un comportement méiotique normal et des fertilités élevées. Les nouvelles combinaisons hybrides qui fleurissent sont aussi fertiles que les premières, même s'il s'agit de croisements intéressant des groupes botaniques différents. On peut donc s'attendre à ce que le comportement cytogénétique de tels hybrides F1 soit aussi de type diploïde.

Chez les hybrides F1 *C. canephora* × *Mascarocoffea*, on observe encore une bonne affinité des chromosomes des génomes en présence. Toutefois, la proportion d'univalents s'accroît et celle des cellules-mères à 11 bivalents devient faible (0 à 8%). L'utilisation de ces hybrides F1 quasi stériles nécessite une étude de la restauration de leur fertilité (LANAUD 1979).

Deux remarques s'imposent à la lecture de ces résultats :

- 1) les deux paramètres biologiques utilisés pour caractériser le comportement des hybrides — proportion de cellules mères à appariement normal et viabilité pollinique — sont étroitement corrélés et varient de façon continue quand on considère l'ensemble des combinaisons.
- 2) les cellules mères à 11 bivalents témoignent de la parenté des garnitures chromosomiques confrontées; même les hybrides F1 entre espèces éloignées comme *C. canephora* et les *Mascarocoffea* forment quelques cellules à appariement complet par allosyndèse.

Les relations des caféiers diploïdes avec *C. arabica* (Tableau 22)

Les taux de réussite des hybridations de *C. arabica* pris comme parent femelle avec les *Eucoffea* diploïdes et avec les *Mascarocoffea* atteignent en moyenne 8 hybrides pour 100 fleurs.

Le tableau 22 résume le comportement méiotique des différents hybrides F1 triploïdes étudiés à ce jour. A la méthaphase I, une partie des chromosomes reste sous forme d'univalents, les autres s'apparient pour donner surtout des bivalents et quelques trivalents. Le nombre d'associations chromosomiques par cellule mère atteint au maximum 11 bivalents potentiels (bivalents + trivalents). Remarquons que le taux d'asyndèse augmente de façon continue en passant des hybrides *C. arabica* × *Eucoffea* 2x (8 à 11 bivalents) aux hybrides *C. arabica* × *Mascarocoffea* (12 à 17 bivalents) tandis que la proportion de cellules mères à 11 bivalents potentiels décroît corrélativement. Ainsi le début de différenciation, mis en évidence entre *Eucoffea* et *Mascarocoffea* au niveau diploïde se trouve confirmé par le décalage de leur comportement méiotique vis-à-vis de *C. arabica*. Tous ces hybrides F1 triploïdes sont vigoureux et quasi-stériles.

Ces données cytogénétiques suggèrent que les nombreux taxons diploïdes d'Afrique et de la région malgache dérivent d'un même génome de base. Leur diversification s'est accompagnée d'un début de différenciation génomique (variation continue du taux d'asyndèse) et géographique qui permet de reconnaître plusieurs sous-ensembles divergents.

Un point paraît maintenant bien établi: la formation de 11 bivalents potentiels par allosyndèse chez les hybrides triploïdes tend à montrer que l'un des génomes constitutifs de *C. arabica* est homologue du génome commun aux *Coffea* diploïdes. De ce point de vue les espèces africaines *C. canephora*, *C. liberica* et *C. eugenioides* présentent des affinités équiva-

TABEAU 22

Comportement méiotique des hybrides F1 *C. arabica* par des espèces diploïdes (2n × 33 chromosomes) (d'après CHARRIER, 1977).

Hybrides interspécifiques	Associations chromosomiques				% CMP à 11 bivalents	FP	Auteurs
	I	II	III	Autres			
<i>C. arabica</i> × <i>C. canephora</i>	14,4	5,4	2,60	–	–		KRUG et MENDES, 1940 KAMMACHER et CAPOT, 1972 CHINNAPPA, 1968 LOUARN, (inédit)
	7,80	9,75	1,61	0,21	89		
	7,98 9,87	9,55 9,57	1,93 1,33	0,04 –	90	4	
<i>C. arabica</i> × <i>Liberio-excelscides</i>	9,28	9,64	1,44	0,03	77	6	CHARRIER, 1976
<i>C. arabica</i> × <i>C. eugenioides</i>	9,70	9,64	1,34	–	92	7	LOUARN (inédit)
<i>C. arabica</i> × <i>C. kapakata</i>	10,07	9,45	1,33	–	62		MONACO et MEDINA 1965
<i>C. racemosa</i> × <i>C. arabica</i>	11,3	9,7	0,80	–	49		MEDINA, 1963
<i>C. arabica</i> × <i>C. bertrandi</i>	11,9	8,6	1,3	–	24	1	
<i>C. arabica</i> × <i>C. perrieri</i>	12,4	8,2	1,4	–	21	2	
<i>C. arabica</i> × <i>C. pervilleana</i>	14,3	8,6	0,5	–	10	1	
<i>C. arabica</i> × <i>C. sp. A311</i>	17,1	7,7	0,2	–	2	1	

lentes en combinaison avec *C. arabica* (80 à 90% de cellules mères à 11 bivalents potentiels); les affinités des *Mascarocoffea* avec *C. arabica* sont moins bonnes.

Le schéma évolutif du genre *Coffea* semble cohérent, mais l'origine allotétraploïde de *C. arabica* n'est pas pour autant résolue. Sa synthèse a été envisagée par hybridation de *C. eugenioides* avec les *canephoroïdes* ou les *liberio-excelsoïdes*. Vu l'homologie chromosomique de ces espèces, le comportement méiotique des amphidiploïdes artificiels devrait s'apparenter à celui d'autotétraploïdes. Le passage vers l'amphidiploïde naturel à comportement méiotique diploïde prépondérant ferait intervenir des phénomènes variés tels que les appariements préférentiels ou des gènes de régulation de la synapsis ou de « diploïdisation ».

Considérons maintenant le comportement méiotique des dihaploïdes de *C. arabica* (BERTHAUD 1976, MENDES 1940): il indique des possibilités d'appariement des génomes constitutifs de *C. arabica* plus limitées que

chez les hybrides F1 obtenus avec les espèces de *Coffea* diploïdes les plus différenciées. La synthèse de *C. arabica* requiert dans ces conditions soit la participation de formes ancestrales des caféiers différentes de celles qui sont actuellement connues, soit l'association au génome de base des *Coffea* diploïdes d'un deuxième génome plus différencié. Les genres affines des *Coffea* pourraient-ils jouer ce rôle? LEROY a proposé l'hypothèse d'une séquence phylogénétique *Paracoffea* → *Coffea*. Pour le moment, nos essais limités de croisement des *Coffea* avec les *Paracoffea* et le *Psilanthus* restent un échec.

Les analyses de la variabilité enzymatique montrent que *C. arabica* et *C. eugenioides* sont proches, mais, pour obtenir le zymogramme de *C. arabica*, il faudrait faire intervenir aussi des espèces plus éloignées comme *C. canephora*, *C. liberica*. Elles se trouvent quelquefois en mélange dans une même population, tel est le cas en Ouganda (THOMAS, 1944) mais jamais avec *C. arabica*.

Les premiers résultats de l'analyse des A.D.N. mitochondriaux (BERTHOUD, 1980 et 1983) laissent à penser que le *C. arabica* pourrait provenir d'échanges complexes entre différentes espèces existant dans la région centrale de l'Afrique tout particulièrement *C. eugenioides* et *C. congensis*. Cette hypothèse a d'ailleurs déjà été avancée (CRAMER, 1957, p. 138).

Les analyses cytologiques aboutissent plutôt à une autre présentation du problème. Quelle que soit l'espèce diploïde confrontée à *C. arabica* dans une combinaison interspécifique les résultats de l'analyse du comportement méiotique sont très proches. Par ailleurs les espèces diploïdes montrent peu de différenciation chromosomique entre elles. On est donc amené à penser que *C. arabica* est constitué de deux génomes distincts dont un serait commun avec celui des espèces diploïdes, le deuxième restant à déterminer. L'une des hypothèses proposées est de le rechercher dans les genres affines tels *Paracoffea* ou *Psilanthus* (CHARRIER 1978). Il semble que les analyses en électrophorèse excluent cette hypothèse, ces genres affines ayant des zymogrammes trop éloignés de celui de *C. arabica*. On pourrait donc imaginer que les tétraploïdes *C. arabica* se soient construits à partir des formes spontanées à génome commun à l'ensemble des caféiers africains. La structure initiale de type autotétraploïdes aurait été progressivement régularisée (diploïdisation de l'aspect des méioses). La poursuite des études sur l'ensemble du complexe multispécifique devrait continuer à apporter des arguments permettant de mieux étayer les hypothèses actuelles.

B. ÉTUDE DE CERTAINES CARACTÉRISTIQUES

1. La résistance aux maladies

Ces études font appel à deux disciplines: la génétique et la phytopathologie, car en fait il s'agit de l'étude des relations d'une plante, le caféier avec un parasite: la rouille (*Hemileia*) ou l'antracnose (*Colletotrichum coffeanum*). Une des relations à privilégier sera évidemment la relation de résistance! Les études porteront sur la détermination des races du parasite si elles existent, les niveaux d'agressivité et le mécanisme de résistance. A

ce sujet nous renvoyons au Tome 2 pour une présentation générale de ces problèmes.

a) La recherche de la résistance à la rouille

Les rouilles et plus particulièrement la rouille orangée dont l'agent pathogène est l'*Hemileia vastatrix*, constituent pour le caféier des parasites dont l'importance économique a été maintes fois démontrée depuis la première épidémie observée à Ceylan en 1868 sur les plantations de *Coffea arabica*.

Hemileia vastatrix est présente dans la plupart des régions de caféiculture du globe, y compris sur le continent américain où elle a été signalée pour la première fois au Brésil, en 1970. Son introduction a été vigoureusement contrée à Porto-Rico, en 1903 (DIEHL, 1955). Pour l'instant, elle semble épargner les pays de l'ouest de ce continent, mais elle constitue une menace permanente dans une région où la production caféière représente plus de 60% de la production mondiale. Le *Coffea arabica*, qui est l'espèce la plus cultivée, se montre également la plus sensible au parasite. Pour des raisons de pratiques culturales et d'ordre économique, la lutte chimique est d'application limitée; aussi, les études se sont-elles orientées vers la sélection génétique pour la résistance.

Cette recherche a débuté par les travaux de MAYNE (1932), puis a été poursuivie dans les différentes stations spécialisées situées dans les régions de caféiculture. Les recherches effectives sur l'évaluation de la résistance, la caractérisation des gènes de résistance et la détermination des races physiologiques de la rouille ont été principalement conduites depuis une vingtaine d'années au Centre de Recherches sur les rouilles du caféier (C.I.F.C.) à Oeiras, au Portugal. Les chercheurs portugais ont mis au point les tests d'inoculation et l'échelle de lecture des symptômes. Ils ont déterminé les conditions optimales nécessaires à l'incubation et au développement de la maladie pour l'étude expérimentale des caractères de résistance. Les résultats de ces travaux constituent désormais une référence pour toutes les expérimentations se rapportant à l'évaluation de la résistance des caféiers à la rouille orangée.

Les techniques d'inoculation et la lecture des symptômes

L'*Hemileia vastatrix* est une urédinale chez laquelle seules les formes urédospores et téléospores sont connues dans la nature. Les urédospores constituent les spores infectieuses à l'aide desquelles sont effectuées les inoculations artificielles par la méthode massale mise au point à Oeiras. Une petite quantité de spores est déposée à la face inférieure du limbe de jeunes feuilles de caféiers et étalée à l'aide d'un pinceau. Une pulvérisation de fines gouttelettes d'eau est pratiquée au niveau de l'inoculation pour favoriser la germination des spores, puis sur l'ensemble du plant pour maintenir une humidité élevée. L'incubation se déroule en deux temps 36 heures à l'obscurité à 24° C dans une ambiance à humidité saturante favorable à la germination des spores et à la pénétration dans les tissus puis 25 à 30 jours dans une serre à 24°C avec une humidité relative de l'ordre de 70%. Ce délai est nécessaire au développement des symptômes à partir desquels est effectuée la lecture. L'échelle de réaction établie après de nombreux essais est constituée de 10 degrés allant de l'immunité jusqu'à la sensibilité extrême, chaque stade étant caractérisé par un symbole (GOUJON, 1971).

- i = immunité: aucun signe d'infection;
- fl = flecks: réaction d'hypersensibilité caractérisée par de petites taches translucides
- ; = réaction d'hypersensibilité caractérisée par de petites nécroses sombres;
- T = tuméfactions locales de petites dimensions;
- O = taches chlorotiques jaune clair sans apparition d'urédospores;
- 1 = taches chlorotiques accompagnées de rares spores à urédospores et fréquemment de zones nécrotiques de taille réduite;
- 2 = pustules de petites ou moyennes dimensions produisant des urédospores et entourées d'une aire chlorotique;
- 3 = pustules de taille moyenne ou grande accompagnées de chlorose;
- 4 = grandes pustules, aucun signe d'hypersensibilité
- X = réaction hétérogène montrant, à côté de pustules de taille et de formes variables, des chloroses, des nécroses et parfois des tuméfactions.

Cette échelle de lecture est relativement complexe et ne peut être respectée, dans son détail, que par un observateur très expérimenté. De manière simplifiée, dans les tests de routine, on considère que les réactions i, fl, ; T, O, 1 caractérisent les plants résistants, les autres réactions correspondant aux plants sensibles.

Les groupes physiologiques de caféiers et les races différentielles de la rouille

Partant des méthodes mises au point qui permettent d'obtenir des résultats reproductibles, les chercheurs portugais procédèrent à des infections systématiques d'un grand nombre de caféiers, principalement de l'espèce *C. arabica*, avec des isolats du parasite récoltés dans toutes les régions de caféiculture. Ainsi ont pu être définis des groupes physiologiques de l'hôte en fonction de leur spectre de réaction à l'égard des différents pathotypes du parasite (Tableau 23). Ces résultats ont une grande importance pratique. Il suffit en effet de constituer une collection de clones ou de cultivars composée d'un représentant de chacun des groupes pour être en mesure de caractériser, en fonction des résultats de l'inoculation, 24 des 28 races de rouilles actuellement connues. Les tests d'inoculation peuvent être pratiqués aisément, sans nécessiter d'installations de laboratoire sophistiquées, et permettront de déterminer localement la composition des races de la rouille orangée et de mettre en évidence l'apparition éventuelle de tout nouveau génotype pathogène.

Réciproquement, il est possible à partir de la collection des races de la rouille de déterminer le groupe de réaction auquel appartient un caféier, quelle que soit son origine.

L'analyse génétique effectuée sur 18 clones de *C. arabica* par NORONHA-WAGNER et BETTENCOURT (1967) puis BETTENCOURT et CARVALHO (1968) devait par ailleurs démontrer la nature monogénique, selon la théorie de FLOR, de la résistance.

TABLEAU 23

Réaction des groupes variétaux de caféiers aux races d'*Hemileia vastatrix* (résultats communiqués par le CIFC Oeiras, extrait de GOJJON, 1971).

Races physiologiques de <i>Hemileia vastatrix</i> et numéro de chaque culture type		Facteurs de virulence		Facteurs de résistance		Génotype probable des groupes de <i>C. arabica</i> en fonction de leur spectre de réaction																			
						β	α	γ	δ	ε	ζ	η	θ	ι	κ	λ	μ	ν	ξ	ο	π	ρ	σ	τ	ς
						SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6	SH1	SH2
IV (32)																									
II (15)					V ₆																				
XIX (264)	V ₁				V ₆																				
III (37)	V ₁				V ₆																				
I (22)		V ₁			V ₆																				
VII (130a)			V ₁		V ₆																				
XV (70)				V ₁	V ₆																				
XXII (535)				V ₁	V ₆	V ₆																			
XVII (292)	V ₁	V ₁			V ₆	V ₆																			
X (137a)	V ₁			V ₁	V ₆	V ₆																			
VIII (166)		V ₁	V ₁	V ₁	V ₆	V ₆																			
XXIV (22a)		V ₁		V ₁	V ₆	V ₆																			
XXV (815)		V ₁		V ₁	V ₆	V ₆																			
XXVI (816)		V ₁	V ₁	V ₁	V ₆	V ₆																			
XII (167a)	V ₁	V ₁	V ₁	V ₁	V ₆	V ₆																			
XXIII (292a)	V ₁	V ₁	V ₁	V ₁	V ₆	V ₆																			
XIV (178a)		V ₁	V ₁	V ₁	V ₆	V ₆																			
XVI (178c)	V ₁	V ₁	V ₁	V ₁	V ₆	V ₆																			

blanc = réaction de résistance
S = sensible, moyennement sensible et moyennement résistant

Ainsi, 6 gènes de résistance (SH1 à SH6) ont été caractérisés correspondant d'après le système du gène pour gène à 6 gènes de virulence (V1 à V6) chez la rouille (Tableau 24). Tous les loci de résistance connus sont dominants. L'existence des gènes de virulence, déduite des réactions différentielles, n'a pu être vérifiée du fait de l'absence de reproduction sexuelle connue chez *Hemileia vastatrix*.

Le cas des caféiers diploïdes

Les données que nous venons d'exposer montrent que les résultats acquis concernent essentiellement la résistance de type vertical chez le

TABLEAU 24

Réactions différentielles entre groupes de *C. arabica* et races d'*Hemilea vastatrix*.
(Extraits de BETTENCOURT et CARVALHO, 1968; cité par GOUJON, 1971).

Huiles physiologiques de MAYNE		<i>Coffea arabica</i>																		<i>Coffea</i> sp.								
		A	R	S	T	U	O	V	X	Y	Z	W	J	H	L	J	Y	G	C	E	D	E	Q	B	P	M	K	B
		Huiles physiologiques d' <i>Hemilea vastatrix</i> et numéro de chaque culture type																										
		R3211 (Hybride de Timor)																										
		1341269 (Hybride de Timor)																										
		11V. 1821 = 3413 (S. 353 4/5) x 1314 (S. 12 KAFFA)																										
		H. 14711 = 3413 (S. 353 4/5) x 1105 (S. 4 Agaro)																										
		H. 14815 = 3311 (S. 298-23) x 1314 (S. 12 KAFFA)																										
		11V. 1712 = 352 (S. 298-7) x 1314 (S. 12 KAFFA)																										
		H. 15068 = 8711 (Geeha) x 3413 (S. 353 4/5)																										
		H. 1511-3311 (S. 298-23) x 1105 (S. 4 Agaro)																										
		H. 15213 = 3211 (DK 1/8) x 1105 (S. 4 Agaro)																										
		H. 15372 = 8711 (Geeha) x 3311 (S. 298-23)																										
		635/3 (S. 12 KAFFA)																										
		1344 (S. 12 KAFFA)																										
		3413 (S. 353 4/5)																										
		106910 (RCP. 532, Arbre 31)																										
		1105 (S. 4 Agaro)																										
		635/2 (S. 12 KAFFA)																										
		3311 (S. 298-23)																										
		8712 (Geeha)																										
		12812 (Billin & Algir)																										
		321 (DK 1/8) (Kent's type)																										
		6315 (Fourbon)																										
		8491 (Mintiri)																										
		162/113 <i>C. canephora</i> Ugandae																										
		6817 <i>C. canephora</i> v. Ugandae																										
		64118 Hybride de Kawliart																										
		R2911 <i>C. canephora</i>																										
		26311 <i>C. canephora</i> Ugandae																										
		108112 <i>C. canephora</i> Lamellini																										
		36913 <i>C. canephora</i>																										

S = sensible	blanc = réaction de résistance
MS = moyennement sensible	MR = moyennement résistant

Coffea arabica. L'existence d'une gradation continue dans l'expression des symptômes tels qu'ils sont décrits par l'échelle de réactions et la présence de réponses intermédiaires à l'inoculation (MS-MR — tableau 23) signifient que la résistance peut s'exprimer également de façon quantitative. Cette résistance horizontale, qui semble importante chez les *C. arabica* originaires d'Ethiopie, apparaît particulièrement développée chez les espèces diploïdes *C. canephora* et *C. liberica*. Les expérimentations effectuées en Centrafrique (SACCAS et al., 1971) sur 46 clones de *C. canephora*, bien

que l'origine de l'inoculum ne soit pas clairement définie, montrent que 4 types de réactions sont enregistrées: résistant, tolérant, sensible, très sensible. RODRIGUEZ et al. (1975) constate par ailleurs, après avoir testé des *C. canephora* d'origines diverses, que cette espèce se distingue par une très grande variabilité dans ses réactions à la rouille et un niveau de tolérance élevé. Enfin, d'une manière générale, les dégâts enregistrés dans les plantations de *C. canephora* en Afrique de l'Ouest, du fait des attaques de la rouille, restent modérés bien que les conditions climatiques soient favorables au développement du parasite.

Ces caractéristiques de la résistance horizontale doivent donc être prises en considération afin de compléter l'étude du potentiel offert par les *Coffea arabica* originaires d'Ethiopie et les différentes espèces diploïdes vivant à l'état spontané en Afrique. A cet égard, les études en cours en Côte d'Ivoire sur des hybrides *arabusta* (*C. arabica* × *C. canephora*) et des hybrides interspécifiques diploïdes (*C. canephora* × *C. congensis*, *C. canephora* × *C. liberica*, *C. liberica* × *C. stenophylla*) devraient permettre d'acquiescer une meilleure connaissance des mécanismes de la résistance et de son héritabilité chez les espèces.

b) La résistance à l'antracnose

Pour cette maladie c'est aussi la mise au point d'une méthode de test par infection artificielle qui a permis d'élucider une partie du mécanisme de résistance. Les travaux sont conduits principalement à la station de recherche sur les caféiers à Ruiru au Kenya (VAN DER VOSSSEN et al., 1976). Dans ce pays c'est cette maladie appelée encore Coffee Berry Disease (C.B.D.), qui est de loin la plus préoccupante. L'inoculation de jeunes plantules de caféiers par une suspension de spores dans certaines conditions de température permet de mettre en évidence les plantules résistantes. Ce test a une corrélation forte avec les observations en champ. Il peut s'appliquer à un grand nombre de plantules. Il a permis d'identifier les géniteurs *C. arabica* pouvant être utilisés comme source de résistance.

Grâce à ce test il a été mis en évidence des niveaux d'agressivité du *Colletotrichum* différents selon les isolats. Jusqu'à présent il n'a pas été possible de trouver des races différentes de ce parasite.

Le mécanisme de résistance semble être contrôlé par quelques gènes majeurs et une série polygénique (VAN DER VOSSSEN et al., 1980).

2. La teneur en caféine

Les résultats présentés ici sont extraits des articles de CHARRIER et BERTHAUD (1975) et BERTHAUD et BERTHOU (1977).

La caféine est l'alcaloïde qui confère l'action stimulante au café-boisson. A partir d'une certaine teneur les effets sont tels que le consommateur restreint les quantités absorbées. On peut donc penser qu'une diminution de la teneur en caféine permettrait un nouveau développement de la consommation de cette boisson. Par ailleurs l'effet stimulant étant quelquefois systématiquement recherché il convient de conserver également des caféiers à forte teneur en caféine.



C. congensis de Centrafrique, en collection sous forêt aménagée à DIVO Côte d'Ivoire



Rizières à Madagascar

Les analyses systématiques de teneur en caféine sur toutes les espèces en collection et sur une diversité maximum de génotypes ont montré que chaque espèce a une teneur moyenne propre et que les écarts de part et d'autre de cette moyenne sont importants. Dans une même espèce l'arbre à plus forte teneur contient souvent 2 fois plus de caféine que l'arbre à la teneur la plus faible. Par contre les effets du milieu sont faibles sur ce caractère. Signalons que dans tout le groupe des *Mascarocoffea* (caféiers malgaches) l'absence de caféine est la règle générale. Toutefois ces caféiers ne sont pas directement exploitables car ils contiennent des principes amers qui rendent la boisson difficilement consommable.

Dans le Tableau 25, nous donnons les teneurs en caféine moyennes et leur étendue de variation pour un ensemble d'espèces. Notons les valeurs remarquablement basses des teneurs en caféine de *C. eugenioides*. Cette espèce, outre sa probable mise en cause dans l'origine de *C. arabica*, présente aussi par elle-même cette caractéristique fort intéressante pour l'amélioration des caféiers.

Outre les différences spécifiques, il existe une variation intraspécifique. C'est ainsi que chez *C. canephora* nous avons pu mettre en évidence une variation géographique de la teneur en caféine, les provenances du Zaïre ayant des teneurs moyennes plus faibles que celles de Côte d'Ivoire. Pour *C. arabica* prospecté en Ethiopie dans la région de Goré on trouve les arbres avec les plus fortes et les plus faibles teneurs. Il s'agit là vraisemblablement d'une zone de grande variabilité qui mériterait d'être reproductée si on s'intéresse tout particulièrement à ce caractère.

D'un point de vue génétique il ne s'agit pas d'un caractère à hérédité simple. L'analyse génétique n'est pas aisée car les espèces diploïdes sont toutes allogames, les descendants d'un même croisement montrent une grande diversité. C'est ainsi que dans la descendance d'un croisement entre 2 clones de *C. canephora* de teneur moyenne il a été trouvé une étendue de variation au moins égale à celle de la collection de cette espèce (CHARRIER et BERTHAUD, 1975).

En hybridation interspécifique la teneur en caféine des descendances se situe en moyenne entre les teneurs des 2 parents, certains arbres pouvant toutefois avoir des teneurs supérieures à celle du parent le plus fort ou inférieures à celle du parent le plus faible.

Les résultats actuels ont pu être obtenus grâce à l'installation d'une chaîne d'analyse des teneurs en caféine pouvant traiter plusieurs milliers d'échantillons par an, à l'ORSTOM (Bondy) puis au GERDAT (Montpellier).

Les principaux résultats qui ressortent de cette étude sont :

- les variations de la teneur en caféine dépendent surtout de facteurs génétiques et peu du milieu;
- la teneur en caféine moyenne est très différente d'une espèce à l'autre;
- à l'intérieur d'une espèce, les variations observées sont très importantes d'un clone à l'autre.

Ces résultats montrent qu'une sélection pour ce caractère peut être très efficace.

TABLEAU 25

Variabilité de la teneur en caféine des différentes espèces prospectées et données antérieures (bibliographie et collections RCI) (d'après BERTHAUD et BERTHOU, 1977).

ESPECES	Niveau d'échantillonnage et provenance	Nombre d'arbres analysés	Moyenne*	Etendue de variation	Données antérieures (collections)
<i>C. eugenioides</i>	espèce, Kenya	12	0,55	0,35 – 0,75	0,23 – 0,51
<i>C. liberica</i>	populations Centrafrique	55	1,18	0,52 – 1,80	0,97 – 1,81
<i>C. stenophylla</i>	une population Côte d'Ivoire	28	1,29	0,89 – 1,86	1,60 – 1,85
<i>C. canephora</i>	espèce Côte d'Ivoire	20	2,76	1,91 – 3,64	1,40 – 4,0
<i>C. arabica</i>	espèce Ethiopie	383	1,20	0,77 – 1,90	0,6 – 1,3

* toutes les teneurs sont données en pourcentage de la matière sèche (% M.S.)

V. CONCLUSION

L'expérience acquise au cours des différentes prospections de caféiers permet de proposer une méthode de prospection adaptée à ce type de plantes et de l'étendre à d'autres espèces arbustives. L'analyse du matériel rapporté de ces prospections permettra de mieux connaître ce matériel et d'en tirer des informations complémentaires quant à la stratégie des prospections. Malgré le travail déjà effectué, il reste encore des populations et espèces de caféiers à prospector avant d'avoir une image complète du complexe multispécifique des caféiers. Il y a donc nécessité de poursuivre ce travail de prospection.

Les problèmes posés par la mise en collection sont réduits actuellement à un problème de surface disponible, les méthodes de manipulation du matériel étant bien maîtrisées. Il serait souhaitable d'évaluer les possibilités offertes par la multiplication végétative *in vitro* (microbouturage et stockage *in vitro*).

L'évaluation du matériel est en cours, les méthodes utilisées sont bien connues, la limitation à l'analyse tient au type de matériel, le caféier exigeant plusieurs années avant d'atteindre son plein développement.

L'utilisation du matériel mis en collection

De toutes les espèces ramenées de prospection aucune ne paraît réunir suffisamment de qualités pour permettre une utilisation agronomique directe, même dans le cas de *C. arabica* et de *C. canephora* dont la mise en culture a déjà été réalisée. Pour une utilisation agronomique il est nécessaire d'envisager la création de nouvelles variétés cumulant de nombreux caractères intéressants à partir de toute la diversité existante. Pour cela des hybrides tant intra- qu'interspécifiques ont été réalisés ou sont en cours de réalisation.

— Les hybrides intraspécifiques

C. arabica

Les plantes provenant de l'aire d'origine n'ont pas une qualité à la tasse suffisante; par contre c'est dans ce type de plantes qu'ont été trouvées des sources de résistance à la rouille et à l'antracnose. Des croisements sont donc réalisés entre ce matériel et les variétés déjà sélectionnées connues pour leur productivité ou leurs qualités organoleptiques. Dans ces croisements un hétérosis important se manifeste et peut être directement exploité par la multiplication végétative.

C. canephora

Grâce à des mises en culture successives d'origines diverses, chez cette espèce, un grand brassage génétique a eu lieu. Il a été ainsi possible d'isoler certains clones agronomiquement intéressants. Il reste beaucoup de connaissances à acquérir sur l'ensemble des populations sauvages de cette espèce. Il se pourrait qu'une différenciation par population existe du type de celle que l'on observe chez les *robusta* Ebobo dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Une meilleure connaissance de ces populations permettra peut-être de définir une ligne de conduite pour l'obtention d'hybrides dans cette espèce. (BERTHAUD, en préparation).

C. liberica

Suite aux problèmes rencontrés en culture, il n'est plus envisagé d'études en vue d'une utilisation agronomique. Toutefois il serait intéressant de connaître la valeur d'hybrides réalisés à partir de formes éloignées tels des *C. liberica* de Côte d'Ivoire et ceux de Centrafrique.

— Les hybrides interspécifiques

C'est dans ce domaine que les possibilités sont les plus larges. La formule Arabusta apparaît comme un premier pas dans l'amélioration des caféiers cultivés en basse altitude; des progrès dans cette voie sont envisageables et même souhaitables. La formule hybride hexaploïde apparaît moins riche de potentialités tout au moins en ce qui concerne l'adaptation à la basse altitude.

Au niveau diploïde le grand nombre d'espèces pouvant intervenir dans les combinaisons oblige à entreprendre un programme de croisements de grande envergure avant de pouvoir choisir les voies les plus prometteuses.

Quelques combinaisons sont connues depuis longtemps tels les *congusta* (*C. canephora* × *C. congensis*). Leur intérêt agronomique ayant déjà été souligné il semble qu'avec les bases élargies que nous possédons actuellement il devrait être possible d'obtenir un nouveau matériel hybride intéressant. Si leur problème de fertilité est surmonté les hybrides *C. liberica* × *C. canephora* devraient aussi cumuler un certain nombre de qualités.

Ce programme ne fait que démarrer, il est encore difficile d'estimer ses chances de réussite. Quoiqu'il en soit la manipulation de tout ce matériel apportera de nombreuses informations sur l'organisation du complexe multispécifique et donc sur les voies les plus efficaces pour obtenir de nouvelles variétés de caféiers.

RÉFÉRENCES CAFÉIERS

- BERTHAUD J., 1976. Etude cytogénétique d'un hapoïde de *C. arabica* L. Café, Cacao, Thé, XX (2): 91-96.
- BERTHAUD J., 1977. Caractéristiques comparées des hybrides interspécifiques tétraploïdes et hexaploïdes *Coffea arabica* L. x *C. canephora* Pierre. 8ème coll. Inter. ASIC, Abidjan, 1977: 393-397.
- BERTHAUD J., 1977. L'hybridation interspécifique entre *Coffea arabica* L. et *Coffea canephora* Pierre. Obtention et comparaison des hybrides triploïdes, *arabusta* et hexaploïdes. Thèse 3ème Cycle, Paris XI, Orsay, 1977: 51 p.
- BERTHAUD J., BERTHOU F., 1977. Analyse de la variabilité dans les populations naturelles de caféiers diploïdes (*Coffea* sp.) Observations sur les teneurs en caféine et sur le polymorphisme enzymatique. 8ème Coll. Intern. ASIC, Abidjan, 1977: 365-372.
- BERTHAUD J., GUILLAUMET J.L., 1978. Les caféiers sauvages en Centrafrique. Café, Cacao, Thé, XXII (3): 171-186.
- BERTHAUD J., GUILLAUMET J.L., LE PIERRES D., LOURD M., 1977. Les prospections des caféiers sauvages et leur mise en collection. 8ème Coll. Intern. ASIC, Abidjan, 1977.
- BERTHAUD J., GUILLAUMET J.L., LE PIERRES D., LOURD M., 1980. Les caféiers sauvages du Kenya. Prospection et mise en culture. Café, Cacao, Thé, XXIV (2): 101-112.
- BERTHAUD J., PERNES J., 1978. Variabilité lue sur les variables qualitatives. I.F.C.C., 14: 63-65
- BERTHOU F., 1978. Etude de la croissance au stade jeune chez quelques origines de *C. arabica* I.F.C.C., 14: 19-21.
- BERTHOU F., CHAUME R., PERNES J., 1978. Variabilité lue sur les variables quantitatives. I.F.C.C., 14: 57-62.
- BERTHOU F., MATHIEU C., VEDEL F., 1983. Chloroplast and mitochondrial DNA variation as indicator of phylogenetic relationships in the genus *Coffea* L.: Theor. Appl. Genet. 65, 1: 77-84.
- BERTHOU F., TROUSLOT P., 1977. L'analyse du polymorphisme enzymatique dans le genre *Coffea*: adaptation d'une méthode d'électrophorèse en série; premiers résultats. 8ème Coll. Inter. ASIC, Abidjan, 1977: 373-383.
- BERTHOU F., TROUSLOT P., HAMON S., VEDEL F., QUETIER F., 1980. Analyse en électrophorèse du polymorphisme biochimique des caféiers: variation enzymatique dans dix-huit populations sauvages, variation de l'A.D.N. mitochondrial dans les espèces: *C. canephora*, *C. eugenioides* et *C. arabica* Café, Cacao, Thé, 24 (4): 313-326.
- BETTENCOURT A.J., CARVALHO A., 1968. Melhoramento visando a resistencia do cafeiro a ferrugem. Pesquisas eim curso no instituto agronomico de Campinas com a colaboração do C.I.F.C. Bragantia 27-1 (4): 35-68.
- BOUHARMONT, 1963. Somatic chromosomes of some coffee species. Euphytica 12: 254-257.
- BRIDSON D. 1982. Studies in *Coffea* and *Psilanthus* (*Rubiaceae* subfam. cinchonodeae) for part 2 of «Flora of Tropical East Africa»: *Rubiaceae new bulletin* vol. 36 (4) (1982).

- CAPOT J., 1972. L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire. Les hybrides « *arabusta* ». Café, Cacao, Thé, XVI (1): 3-18.
- CARVALHO A., MONACO L.C., 1959. Híbrido entre *Coffea* e *psilanthopsis*. *Bragantia* 18: 21-29.
- CARVALHO A., MONACO L.C., 1968. Relaciones genéticas de especies seleccionadas de *Coffea*. Café, V9 (4), 1978: 3-19.
- CHARRIER A., 1977. La structure génétique du genre *Coffea*; ses conséquences pour l'amélioration des caféiers cultivés. 8ème Coll. Inter. ASIC, Abidjan, 1977: 399-405.
- CHARRIER A., 1978. Les ressources génétiques du genre *Coffea* en Afrique. Coll. AAASA/IITA Ibadan, 1978.
- CHARRIER A., 1976. La structure génétique des caféiers spontanés de la région Malgache (*Mascarocoffea*). Leur relation avec les caféiers d'origine africaine (*Eucoffea*). Mémoire ORSTOM, 87: 1978, 223 p.
- CHARRIER A., BERTHAUD J., 1975. Variation de la teneur en caféine dans le genre *Coffea*. Café, Cacao, Thé, XIX (4): 251-264.
- CHEVALIER A., 1940. Nouveau groupement des espèces du genre *Coffea* et spécialement de celles de la section *Eucoffea*. C.R. Acad. Sci. Paris, 210: 357-361.
- CHEVALIER A., 1947. Les caféiers du globe. III. Systématique des caféiers et faux caféiers. Maladies et insectes nuisibles Paul LECHAVALIER Ed., Paris: 356 p.
- COUTURON E., 1980. Le maintien de la variabilité des graines de caféiers par le contrôle de leur teneur en eau et de la température de stockage. Café, Cacao, Thé, XXIV (1).
- CRAMER P.J.S., 1957. A review of literature of *Coffea* research in Indonesia. Wellman F.L. (Ed.), Turrialba Costa Rica, (I.A.I.A.S.): 262 p.
- DIEHL W.W., 1955. Solving the Puerto Rican coffee rust mystery. *Chronica botanica*, 9p.
- DUBLIN P., 1967. L'amélioration du caféier *Robusta* en Républiques Centrafricaine. Dix années de sélection clonale. Café, Cacao, Thé, XI, (2): 101-138.
- F.A.O., Mission to Ethiopia, F.A.O. Rome, 1968.
- GOUJON M., 1971. Considérations à propos de la résistance des plantes. Le cas particulier des caféiers attaqués par les rouilles orangée et farineuse. Café, Cacao, Thé, XV (4): 308-328.
- GRASSIAS M., 1978. La fertilité chez les hybrides *Arabusta*. 8ème Coll. Inter. ASIC. Abidjan, 1977: 553-560.
- GRASSIAS M., 1980. Etude de la fertilité et du comportement méiotique des hybrides interspécifiques tétraploïdes *arabusta* (*Coffea arabica* × *C. canephora*). Thèse 3ème cycle, Paris XI, orsay, 98 p.
- HUTCHINSON J., DALZIEL J.M. 1963. Flora of west tropical Africa. 2° ed. Crown agents for oversea governments and administration. Millbank, London, SW.1.
- I.F.C.C., 1963. Les principes de la sélection des caféiers *canephoroïdes* et *liberia excelsoïdes*. Leur application aux travaux des centres de recherches de l'Institut Français du Café et du Cacao en Côte d'Ivoire, à Madagascar et en République Centrafricaine. I.F.C.C. (Paris, 5: 48 p.)
- I.F.C.C., 1978. Etude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers. Résultats des études et des expérimentations réalisées au

- Cameroun, en Côte d'Ivoire et à Madagascar sur l'espèce *Coffea arabica* L. collectée en Ethiopie par une mission ORSTOM en 1966. I.F.C.C., 14. Paris.
- KRUG, C.A. et CARVALHO A. 1951. The genetics of coffee. *Advances in genetics*, 4: 127-168.
- KRUG C.A, CARVALHO A., ANTUNES FILHO H., 1954. *Genetica de Coffea*. XXI. Hereditariedade dos caracteristicos de *Coffea arabica* L. var. Laurina. *Bragantia*, 13: 247-255.
- LANAUD C., 1979. Etude de problèmes génétiques posés chez le caféier par l'introgession de caractères d'une espèce sauvage (*C. kianjavatensis: Mascarocoffea*) dans l'espèce cultivée *C. canephora* *Eucoffea*; *Café, Cacao, Thé*, XXIII (1): 3-28.
- LEBRUN J., 1941. Recherches morphologiques et systématiques sur les caféiers du Congo. *Mémoire de Inst. Royal Colonial Belge*.
- LEMORDAN D., 1971. Contribution à l'ethnobotanique éthiopienne, *J. Agri. Trop. Bot. Appl.*, XVII, (4-5-6): 142-179.
- LE PIERRES D., 1977. Conservation des ressources naturelles dans le genre *Coffea*. Protocoles d'étude et d'installation des collections et des essais. Abidjan, Centre ORSTOM Adiopodoumé, IFCC Divo, 1977: 60 p.
- LEROY J.P., 1962. A propos du *Coffea lebruniana*; sa présence au Gabon. Note sur l'*Argocoffea rupestris* (Hiern) Lebrun. *J. Agric. Trop. Bot. App.*, 9 (7-10): 420-422.
- LEROY J.F., 1967. Recherches sur les caféiers. Sur la classification biologique des caféiers et sur l'origine et l'aire du genre *Coffea*. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 265: 1043-1045.
- LEROY J.P., 1968. Notice sur les titres et travaux scientifiques de J.F. Leroy. Imp. Monnoyer (Le Mans), fascicule II, 38 p.
- LEROY J.F., 1980. Evolution et taxogénèse chez les caféiers. Hypothèse sur leur origine. *C.R.Acad. Sci.*, Paris, 291: 593-596.
- LOUARN J., 1972. Introduction à l'étude génétique des *Mascarocoffea*: Nouvelles déterminations de leurs nombres chromosomiques. *Café, Cacao, Thé*, XVI (4): 312-315.
- LOUARN J., 1976. Hybrides interspécifiques entre *Coffea canephora* Pierre et *C. eugenoides* Moore. *Café, Cacao, Thé*, XX (1): 433-452.
- LOUARN J. 1977. Les hybrides entre *Coffea canephora* Pierre et *C. eugenoides* Moore: exemple de croisement entre espèces de *Coffea* diploïdes africains pour l'amélioration qualitative des cafés produits en « basse altitude ». 8ème Coll. Inter. ASIC. Abidjan, 1977: 407-410.
- LOUARN J., 1980. Hybrides interspécifiques entre *Coffea canephora* et *C. liberica*. Résultats préliminaires sur les hybrides F1. *Café, Cacao, Thé*, 24 (4): 297-304.
- MARSHALL D.R., BROWN A.H.D., 1974. Optimum sampling strategies in genetic conservation. In: *Crop genetic resources for today and tomorrow*.
- MAYNE W.W., 1932. Physiological specialisation of *Hemileia vastatrix* B and Br. *Nature*, 129 (3257): 510.
- MENDES A.J.T., BACCHI O., 1940. Observações citológicas em *Coffea*. V. Uma variedade haploide de *C. arabica* L. *Bol. Tech.* 77, Campinas, Brasil.
- MONACO L.C., CARVALHO A., 1975. Coffee breeding for leaf rust resistance. 7e Congres ASIC, Hambourg 1975: 437-445.

- MONACO L.C., MEDINA D.M., 1965. Híbridações entre *Coffea arabica* e *C. kapakata*. Análise citológica de um híbrido triploide Bragantia, 24: 191-201.
- NORONHA-WAGNER M., BETTENCOURT A.J., 1967. Genetic study of the resistance of *Coffea* sp. to leaf rust. I. Identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* L. to twelve physiologic races of *Hemileia vastatrix*. Can. Jour. Bot., 45: 2012-2031.
- PAYNE R.C., FAIR BROTHERS D.E., 1976. Disc electrophoretic evidence for heterozygosity and phenotypic plasticity in selected lines of *Coffea arabica* L. Bot. Gaz., 137 (1): 1-6.
- PORTERES R., 1937. Etude sur les caféiers spontanés de la section *Eucoffeea*. Annales agricoles Afric. Oc. et Etrangères. 1ère Partie: Répartition, habitat 1937 (1): 68-91, 2ème partie: Espèces, variétés, formes, 1937, (1), 2: 219-263.
- PURSEGLOVE J.W., 1968. Tropical crops, Dicotyledons. Longman, London, 719 p.
- REYNIER J.F., PERNES J., CHAUME R., 1978. Diversité observée sur les descendances issues de pollinisation libre au Tonkoui. I.F.C.C., 14: 69-74.
- SISJON V.A., BRIM C.A., LEVING C.S., 1978. Characterization of cytoplasmic diversity in Soybeans by restriction endonuclease analysis. Crop Sci. 18 (6): 991-996.
- SACCAS A.M., CHARPENTIER J., 1971. La rouille des caféiers due à *Hemileia vastatrix* B et Br. I.F.C.C., 10: 123 p.
- THOMAS A.S., 1944. The wild coffees of Uganda. Emp. J. Exper. Agri., 12: 1-12.
- VAN DER VOSSSEN H.A.M., 1978. Methods of preserving the viability of coffee seed in storage. Seed Sciences and Technology, 6.
- VAN DER VOSSSEN H.A.M., WALYARO D.J., 1980. Breeding for resistance to coffee berry disease in *Coffea arabica* L. II. Inheritance of the resistance. Euphytica, 29 (3): 777-791.
- WALYARO D.J., VAN DER VOSSSEN H.A.M., 1977. Pollen longevity and artificial cross pollination in *Coffea arabica*. Euphytica 26 (1): 225-231.
- WELLMAN F.L., 1961. Coffee: botany, cultivation and utilisation. Leonard Hill, New York: 488 p.

LES RIZ

I. INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, la culture du riz, *Oryza glaberrima*, est d'origine très ancienne et probablement antérieure à l'introduction du riz d'origine asiatique *Oryza sativa*.

D'après CHEVALIER (1937):

« La domestication et la mise en culture de l'ancêtre spontané des diverses formes d'*O. glaberrima* ont probablement pris naissance sur les confins du Sahara et du Soudan occidental, à la fin du dernier glaciaire ou au début du Néolithique, à l'époque où le Sahara était en grande partie humide, lorsque le Niger allait se perdre dans les vastes contrées occupées aujourd'hui par le Tanezrouft... Lorsque le Sahara se dessêcha, la culture du riz progressa vers le sud. Toutefois, il est vraisemblable que ce riz était encore cultivé dans le Sahara, autour des mares qui pouvaient exister dans le pays des Garamantes, durant la période comprise entre HERODOTE (Vème siècle avant J.C.) et STRABON (1er siècle) et ce serait le fameux riz des Garamantes cité par ce dernier.

L'historien arabe IBN BATOUTA qui visita le Soudan nigérien vers 1350 rapporte que le royaume du Mali (sur le Niger) produit beaucoup de riz, mais ce riz est nuisible aux blancs qui en font usage (vol. IV, p. 374 de la traduction DEFREMERY et SANGUINETTI).

LEON l'Africain dont le voyage au Soudan remonte à 1507 indique de son côté que la région de Gago (Gao) et le royaume de Guber (le canton de Gober de notre colonie du Niger) produisent en abondance du riz... Tous les riz cités par ces auteurs appartenaient sans nul doute à *O. glaberrima*. »

D'après PORTERES (1950) les introductions d'*O. sativa* en Afrique datent des débuts de l'ère chrétienne et sont dues aux Arabes, au Maghreb, mais ce sont les Portugais qui ont introduit cette espèce en Afrique de l'Ouest à partir du XVème siècle (fig. 22).

Une autre voie certaine d'introduction du riz asiatique date des premiers voyageurs venant de Malaisie et s'arrêtant d'abord à Madagascar puis sur la Côte Est-Africaine. L'arrivée de ces embarcations avec à leur bord du riz comme réserve alimentaire (CARPENTIER, 1978) date de quelques siècles avant J.C.

Depuis son introduction, la culture d'*O. sativa* n'a cessé de s'étendre en Afrique mais c'est la réalisation des projets rizicoles durant ces 50 dernières années qui a permis la vulgarisation de variétés modernes mettant en danger la survie de l'espèce indigène *O. glaberrima*.

Bien que *O. glaberrima* soit encore cultivée sa sauvegarde n'en est pas moins urgente. Il est probable qu'elle possède des ressources génétiques inexploitées qui pourraient être utilisées pour l'instant pour l'intensification de certains types de cultures (riziculture pluviale, flottante...).

A la suite d'un grand nombre de prospections, PORTERES (1950 — 1956) situe l'aire de répartition d'*O. glaberrima* du Cap Vert au lac Tchad (fig. 23): c'est le « domaine rizicole ancien », antérieur à l'arrivée du riz asiatique. Il y distingue:

- un centre primaire de variation dans le delta central nigérien, dans lequel on rencontre le groupe *nigerica*,
- un centre secondaire ancien de diversification en Sénégambie où l'on trouve le groupe *senegambica*,

- et un centre secondaire en voie d'émanipation où l'on assiste au passage du type *nigerica* au type *senegambica*: ceci dans la dorsale guinéenne. Pour ce même auteur, l'existence du centre primaire d'origine remonterait à 1500 ans avant J.C.

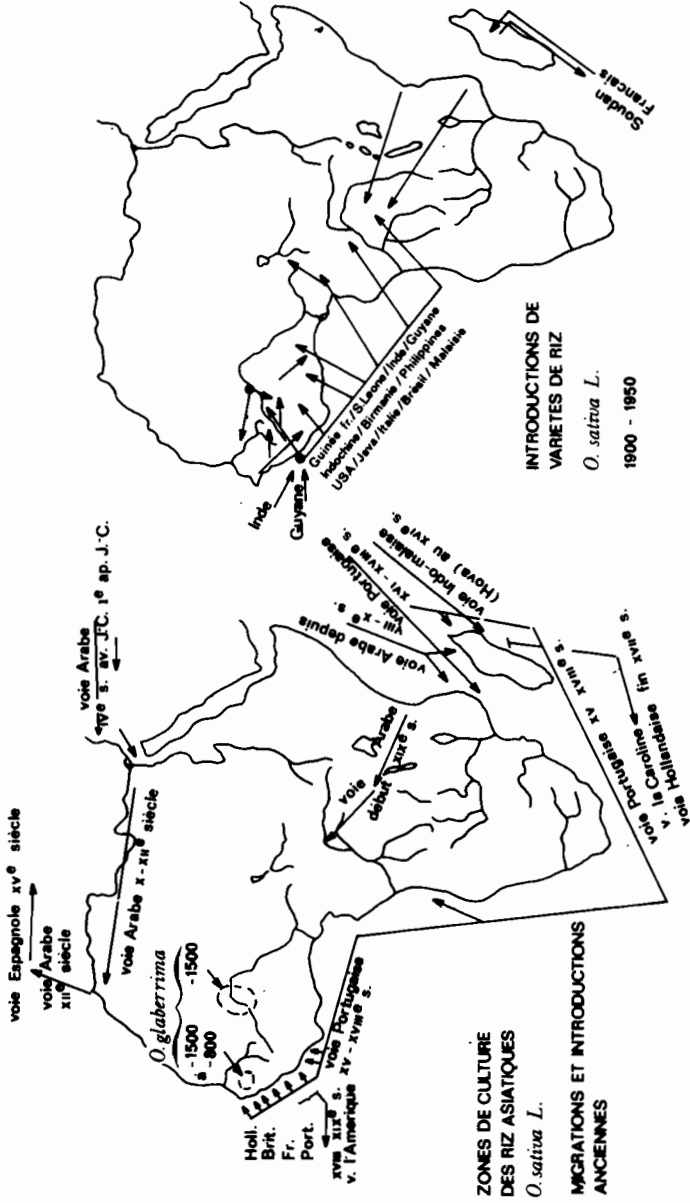


Figure 22: Les grandes étapes de l'introduction d'*Oryza sativa* en Afrique (PORTERES, 1950).

TABLEAU 26Caractéristiques des principales espèces du genre *Oryza* en Afrique (BEZANCON et al., 1977)

Nom de l'espèce	Domestication	Pérennité	Multiplication par graines	Système de reproduction	Génome	Nombre de chromosomes	Collecte
<i>O. sativa</i> Linn.	Cultivé	+	+	Autogame	AA	24	+
<i>O. glaberrima</i> Steud.	Cultivé	-	+	Autogame	AgAg	24	+
<i>O. barthii</i> A. Chev. <i>O. longistaminata</i> A. Chev. et Roehr	Sauvage	+	+	Allogame	A'A'	24	+
<i>O. breviligulata</i> A. Chev. et Roehr	Sauvage et adventice	-	+	Autogame	A ^a A ^a	24	+
<i>O. stapfii</i> Roschev.	Adventice	-	+	Autogame	A ^a A ^a ?	24	+
<i>O. eicheingeri</i> A. Peter	Sauvage	+	+	Autogame	CC	24	+
<i>O. punctata</i> Kotschy ex Steud.	Sauvage	-	+	Autogame	BB, BB CC	24,48	+
<i>O. brachyantha</i> A. Chev. et Roehr	Sauvage	-	+	Autogame	FF	24	+

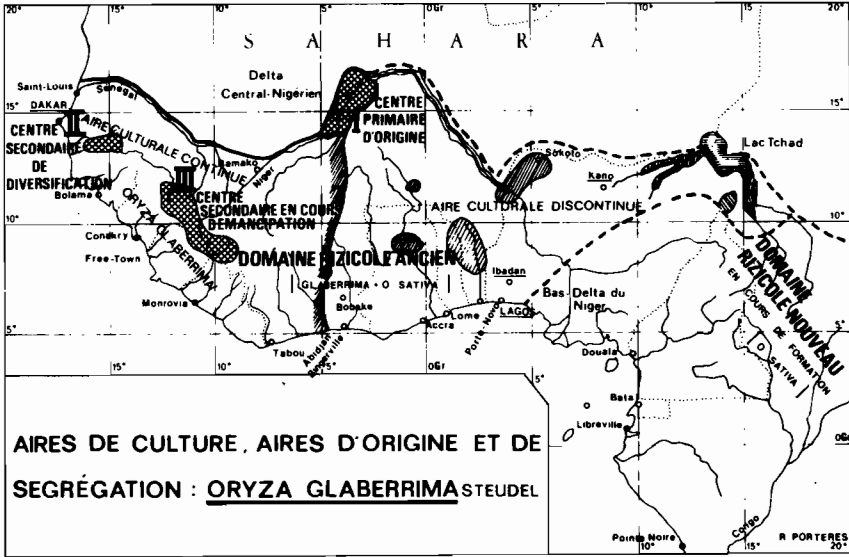


Figure 23: Aires de culture, aires d'origine et de ségrégation de *Oryza glaberrima* St. L'aire culturale couvre en continuité l'extrême ouest, et en discontinuité les territoires situés entre le bassin de la Volta et le Tchad-Bennoué, constituant ainsi le « Domaine Rizicole Ancien », antérieur à l'arrivée du riz asiatique *O. sativa* L. (XVI^e S. et sqq.). — Ont été portés sur la carte: 1. le centre primaire d'origine et de variation au delta central nigérien, à caractères génétiques dominants, 2. les centres secondaires de variations, à caractères génétiques récessifs. On y distingue le centre sénégambien où les dominances primaires ont été définitivement écartées, et le centre de la dorsale guinéenne, où la récessivité est seulement en cours d'émancipation. (PORTERES, 1957).

II. LE GENRE *ORYZA* ET LE COMPLEXE SPÉCIFIQUE *SATIVA* DANS LE MONDE

Le genre *Oryza* comprend une vingtaine d'espèces dont 2 seulement sont cultivées: *O. sativa* L. et *O. glaberrima* Steud (TATEOKA, 1963). Elles sont distribuées dans toute la zone intertropicale: Asie, Afrique, Amérique, Océanie. Les vicissitudes dans le nombre d'espèces reconnues proviennent:

- des controverses dans les appellations: certaines espèces étant classées selon les auteurs, dans les genres *Oryza*, *Leersia*, *Rhynchoryza*, *Porteresia*,
- de l'existence de complexes spécifiques aux limites mal définies (CHANG, 1970),
- de l'existence d'espèces adventices pouvant être d'origine hybride,
- de synonymies ou confusions occasionnelles.

Les cytogénéticiens distinguent des espèces diploïdes et des espèces allotétraploïdes. Au moins six génomes de base sont reconnus et désignés

par une lettre majuscule de A à F. Pour distinguer les espèces ayant un génome de base identique, mais dont les appariements méiotiques présentent quelques anomalies — lorsqu'ils sont confrontés dans des hybridations interspécifiques — des lettres minuscules sont utilisées (KIHARA, 1963).

Parmi les espèces diploïdes ($2n = 24$) on rencontre les 2 espèces cultivées qui forment avec les espèces sauvages apparentées le complexe « *Sativa* », partageant le génome AA. C'est le seul génome représenté sur les 4 continents.

— **En Afrique**, le complexe *Sativa* comprend, outre les deux espèces cultivées, deux espèces sauvages distinguées sans ambiguïté dans tous les cas :

- *O. breviligulata* A. Chev. et Roehr. (syn. *O. barthii* A. Chev.), annuelle et autogame,

- *O. longistaminata* A. Chev. et Roehr. (syn. *O. barthii* A. Chev., *O. perennis* subsp. *barthii*), pérenne et allogame.

Le nom *O. barthii* A. Chev. ayant été utilisé à la fois pour l'une et l'autre espèce, il est préférable de l'écartier de la nomenclature afin d'éviter les confusions.

Une espèce adventice *O. stapfii* Roschev. a été décrite mais certains auteurs la considèrent comme synonyme d'*O. breviligulata*. Ce point sera discuté page 128.

— **En Asie**, le complexe *Sativa* comprend un continuum de formes pérennes, annuelles et intermédiaires rassemblées sous l'appellation *O. perennis* Moench, « forme asiatique »*. Plus récemment, la forme pérenne a été appelée *O. rufipogon* Griff et la forme annuelle *O. nivara* Sharma et Shastry. Une forme adventice est également distinguée : *O. spontanea*.

Plusieurs synonymes ont été utilisés pour chacune de ces espèces.

— **En Amérique**, un continuum de formes est rencontré sous l'appellation *O. perennis* « formes américaines », subdivisé en un groupe « Amérique centrale » et un groupe « Amérique du sud » (MORISHIMA, 1969).

— **En Océanie**, on rencontre une « forme océanienne » d'*O. perennis* qui est annuelle et autogame, et une forme se rattachant au rameau asiatique d'*O. perennis* sur la base des tests de fertilité des hybrides F₁ (MORISHIMA, 1969).

Sur un même continent, il y a ségrégation d'habitat entre les formes annuelles et pérennes et les habitats diffèrent sensiblement d'un continent à l'autre (OKA, 1978).

Les espèces tétraploïdes ont en commun le génome C. On distingue le complexe *latifolia* en Amérique (génome CC DD) et le complexe *officinalis* en Afrique et en Asie (génome BB CC ou CC).

Remarque : Les génomes E et F ne sont chacun représentés que par une seule espèce diploïde en Afrique et en Océanie.

* Notons que l'appellation *O. perennis* Moench n'est pas retenue par les taxonomistes car elle n'a pas été définie avec précision. Ces derniers adoptent *O. rufipogon* Griff. comprenant les formes pérennes et annuelles sauvages d'Asie, d'Amérique et d'Océanie (CLAYTON, communications personnelles). Nous conserverons pour l'instant, ici, les appellations utilisées par les auteurs que nous citerons.

III. LES ESPÈCES DU COMPLEXE «SATIVA» EN AFRIQUE ET À MADAGASCAR

En Afrique, les génomes A, B, C et F sont représentés et six espèces sauvages sont reconnues (voir tableau 26) abstraction faite d'*O. tisserantii* et *O. perrieri* que l'on peut classer dans le genre *Leersia*.

Ce qui va suivre consiste en un certain nombre de remarques ou d'observations effectuées lors des différentes prospections, concernant les principales espèces sauvages de riz pour lesquelles nous nous attacherons à donner les différentes caractéristiques biologiques et à montrer ce qu'ont pu apporter les prospections pour une meilleure connaissance de ces espèces.

Les espèces cultivées et la riziculture en Afrique feront l'objet d'un autre chapitre.

A. *ORYZA LONGISTAMINATA* A. CHEV. et ROEHR

C'est une espèce allogame et pérenne qui se multiplie végétativement par rhizomes. C'est une espèce caractéristique des plaines africaines et malgaches, régulièrement inondées, de profondeur moyenne (0 à 2 m d'eau voir 3 m). Elle est particulièrement abondante dans les plaines des grands fleuves tels que: le Sénégal, le Niger (en particulier dans le delta intérieur au Mali), le Logone et le Chari au Tchad, la Malagarzy en Tanzanie, le Zambeze en Zambie, le Nil au Soudan. On la rencontre également dans les marais de l'Okavango au Botswana, et dans ceux en bordures des lacs Malawi et Victoria. Si ces grandes plaines sont en savane sèche *O. longistaminata* existe aussi dans les bassins fluviaux en zone forestière: bassin du Zaïre, fleuve Wouri au Cameroun. Un cas particulier peut être représenté par les savanes incluses de la basse Côte d'Ivoire.

Il apparaît donc que cette espèce se maintient dans des habitats stables et peu perturbés, mais dans des situations écologiques qui peuvent varier.

La plante développe un réseau dense de rhizomes souterrains dont chaque nœud peut donner naissance à une nouvelle tige. Avec ce caractère de pérennité un autre caractère permet de distinguer *O. longistaminata* des autres espèces en Afrique: la ligule est pointue, bifide et souvent très longue, pouvant atteindre jusqu'à 5 cm.

Par rapport aux espèces annuelles, l'exertion de la panicule (mesurée comme la distance entre la ligule de la dernière feuille et la base de la panicule) est très importante, fréquemment de plusieurs dizaines de centimètres. Les caractères paniculaires sont plus variables: taille, compacité de la panicule, couleur et longueur des arêtes, longueur des épillets (qui sont très souvent charbonneux, dans les petites populations).

Cette espèce est généralement allogame. Des systèmes d'auto-incompatibilité font que seules les grandes populations, au sein desquelles peuvent cohabiter des formes interfertiles, produisent des graines. Ceci est en accord avec la remarque de STEBBINS (1958) concernant l'association de l'allogamie avec un habitat stable. *O. longistaminata*, ayant une haute

capacité de multiplication végétative, a un système de reproduction bien adapté à la fécondation croisée, bien qu'elle soit, par des barrières reproductives, isolée partiellement des autres espèces du complexe *Sativa*. La caducité des épillets est très marquée et très rapidement ceux-ci, vides ou pleins, tombent à l'eau. Dans les régions où existent ces grandes plaines à *O. longistaminata*, particulièrement dans le delta intérieur du Niger, et dans les « Yaérés » au Nord Cameroun, cette production de graines est utilisée par les populations locales comme un appoint non négligeable de nourriture. La récolte se fait alors, soit à l'aide d'une calebasse balancée à bout de bras à hauteur des panicules avant que les graines ne soient tombées soit à l'aide d'un panier permettant de récupérer les épillets flottant encore à la surface de l'eau.

Si cette espèce se développe principalement en grandes populations dans les plaines inondables, elle existe également dans les rizières de types flottants en tant qu'adventice dont les riziculteurs ont beaucoup de mal à se débarrasser. Même un labour en fin de culture, exposant les rhizomes au soleil de la longue saison sèche, ne les détruit pas en totalité. Il faut les déterrer et les brûler ou bien pratiquer le faucardage : les parcelles choisies ne sont pas ensemencées, mais désherbées au fur et à mesure de la croissance du riz sauvage. Cette méthode pour être efficace doit être appliquée pendant deux campagnes consécutives au cours desquelles il n'y a pas de culture : on comprend alors qu'elle ne soit pas très prisée des paysans.

Les petites populations d'*O. longistaminata* en mélange avec les espèces cultivées, ou bien le long des marigots et des canaux d'irrigation, sont très peu fertiles : le même clone est propagé grâce à la croissance importante du rhizome qui peut atteindre jusqu'à 1 m par an.

On peut observer chez cette espèce, une certaine résistance à la salinité des sols : dans la région de Richard-Toll au Sénégal, elle a été rencontrée dans des plaines inondables, sur des sols riches en éléments N et K et dont le taux de salinité était assez élevé (BOEKEN, 1971). Cela existe également en Casamance et au Libéria.

Comment expliquer le maintien des grandes prairies hydrophytes à *O. longistaminata*, et l'envahissement des rizières par cette espèce ?

Pour CHEVALIER (1910) les rhizomes ne peuvent supporter la longue saison sèche soudanaise et les grains qui ont flotté puis se sont déposés sur le sol et qui ensuite s'y sont enterrés grâce à leur arête, germent au retour des eaux.

Pour HENRY (1911) la conservation des populations naturelles de *O. longistaminata* est liée à la faculté de reproduction par rhizomes : le développement rhizomateux étant inversement proportionnel à la profondeur des rizières. Pour cet auteur, les germinations de graines sont un appoint d'importance variable pour le maintien des populations.

Les deux modes de multiplication existent. Quant à leur importance respective dans le maintien des populations, il est difficile de la définir. Il semblerait néanmoins que les rhizomes grâce à leur croissance importante et rapide, soient le principal moyen de colonisation et d'envahissement des plaines inondées. Les graines, transportées par les eaux, et dotées d'une forte dormance, permettent la propagation de l'espèce et le maintien des populations dans des conditions climatiques défavorables (sécheresse exceptionnelle).

B. *ORYZA BREVILIGULATA* A. CHEV. et ROEHR

Cette espèce est dénommée *O. barthii* dans «Flora of West Africa» (CLAYTON, 1968). C'est l'espèce sauvage annuelle autogame. Elle est considérée par PORTERES (1956) comme l'ancêtre direct de l'espèce cultivée *O. glaberrima*. Pour ce même auteur la domestication de cette espèce sauvage aurait eu lieu dans le delta intérieur du Niger au Mali, qu'il considère comme le centre primordial d'origine de l'espèce cultivée africaine. Néanmoins, les différentes prospections que nous avons réalisées dans cette région nous ont montré que *O. breviligulata* n'existe pas à l'état spontané dans les zones inondées du delta, mais à la périphérie, dans des mares temporaires en savane sèche. Cela semblerait confirmer l'hypothèse selon laquelle *O. breviligulata* aurait évolué à partir d'*O. longistaminata* ou d'une autre espèce analogue et aujourd'hui disparue à la suite de la forte pression de sélection imprimée par la désertification. *O. breviligulata* se serait adaptée aux zones sahéliennes soudanaises, irrégulièrement inondées, par la modification de son système de reproduction; ce passage de l'allogamie à l'autogamie étant accompagné de la transformation du type pérenne en type annuel. Remarquons cependant qu'aucune forme intermédiaire entre les deux espèces n'a été rencontrée et que les données d'électrophorèse d'isozyme permettent de réfuter cette hypothèse comme nous le verrons plus loin.

Si l'espèce *O. longistaminata* se rencontre dans des milieux écologiques relativement variables, il n'en est donc pas de même pour la forme spontanée d'*O. breviligulata* qui ne se développe que dans ces mares temporairement inondées par les eaux de pluie et de ruissellement, dont la profondeur détermine la longueur du cycle des plantes, sur des sols alluvionnaires recouvrant la cuirasse latéritique. Ces mares servent d'abreuvoirs aux troupeaux et sont très souvent piétinées et enrichies en matière organique par les défécations animales. L'assèchement de ces mares peut dans certains cas se produire avant la fin du cycle de la plante. Sinon, à maturité, les épillets très faiblement attachés à la panicule tombent et, grâce à leur arête rigide et hispide, sont soit enfouis dans la boue, soit rassemblés au fond des larges fentes de retrait du sol. Les arêtes, en s'accrochant aux pattes des animaux, peuvent servir à la dissémination de l'espèce.

L'habitat de ces formes spontanées d'*O. breviligulata* est donc bien caractérisé. Nous avons pu observer ces populations dans la zone de savane soudanaise, en Haute-Volta et dans le nord de la Côte d'Ivoire, en Guinée, dans la région du lac Tchad jusqu'au Soudan, et au Nord-Cameroun, et encore plus au nord à la limite du désert, au nord-ouest du delta du Niger au Mali, et dans la vallée du Ferlo au Sénégal. En Afrique Australe, c'est dans la basse vallée de la Luangwa en Zambie, en bordure du delta de l'Okavango au Botswana et dans le plateau central tanzanien que nous avons pu observer ces populations.

Morphologiquement, les formes spontanées d'*O. breviligulata* sont caractérisées par une ligule courte, une panicule avec uniquement des ramifications d'ordre I portant peu d'épillets. Ces épillets sont très allongés, avec des glumelles de couleur claire ou brune, dont l'une est terminée par une arête très longue (jusqu'à 15 cm) épaisse, cassante et denticulée.

Le caryopse est généralement de couleur vert clair. Ces formes présentent un égrenage spontané très marqué et certaines se révèlent très sensibles à la pyriculariose.

Comme *O. longistaminata*, cette espèce peut être récoltée comme appoint de nourriture, et cela par des peuplades n'ayant aucune tradition rizicole. C'est ce que nous avons pu observer dans un village non loin du lac Tchad, où deux méthodes de cueillette sont pratiquées selon la densité des pieds dans ces populations de riz sauvage. Là où il y a une forte densité de plantes, environ 20 panicules sont liées ensemble pour les préserver de l'égrenage naturel, alors que là où les plantes sont plus dispersées la récolte se fait à l'aide d'un panier balancé à bout de bras à hauteur des panicules.

C. LES AUTRES ESPÈCES SAUVAGES

1. *O. brachyantha*: très fréquente dans la zone sahélienne dans des petites mares sur cuirasse latéritique. Nous l'avons parfois rencontrée en association avec *O. breviligulata*, présente en Afrique de l'Est et Australe.

2. *O. punctata*: il existe des formes diploïdes dans les zones de savane parfois en association avec *O. breviligulata*, et parfois des formes tétraploïdes que nous avons observées en Côte d'Ivoire.

3. *O. eichingeri*: très proche d'*O. punctata*, mais se trouvant en zone forestière. Ce sont des formes diploïdes.

4. Nous pouvons également citer les quelques espèces du genre *Leersia* voisin du genre *Oryza*:

— *L. hexandra*: c'est une espèce très fréquente dans toutes les zones inondables, en bordure des rizières, pouvant former de véritables îles flottantes (comme sur le lac Tchad).

— *L. tisserantii* Launert, également dans les zones inondables mais peu profondes, et dont nous avons pu récolter quelques graines au Sud du lac Tanganyika et au Cameroun.

— *L. nematostachya* Launert, (= *O. angustifolia* C.E. Hubb) a pu être observée dans certaines mares du plateau de l'Adamaoua au Cameroun: *L. perrieri* Launert (= *O. perrieri* A. Cann.), signalée aussi à Madagascar.

D. LES HYBRIDATIONS NATURELLES ENTRE LES DIFFÉRENTES ESPÈCES SAUVAGES ET CULTIVÉES DU GÉNOME A EN AFRIQUE

Un des objectifs de chacune des prospections est la recherche grâce à l'observation des populations naturelles en place, des formes particulières qui peuvent être des formes intermédiaires entre deux espèces ou des formes stériles résultant d'hybridations interspécifiques. Il est très fréquent d'observer des formes intermédiaires entre *O. breviligulata* et *O. glaberrima*. Plus rares sont les formes intermédiaires entre *O. longistaminata* et les autres espèces. CHU et OKA (1969) ont cependant observé de tels hors-

types, dans la descendance de plantes obtenues à partir d'échantillons de graines collectés par le Dr. J. FURUSATO en 1959. Ce sont ces formes possédant un grand nombre de panicules, mais stériles, qu'ils ont appelées »Obake».

Nous allons envisager successivement les différents types d'hybrides suivants:

- *O. sativa* avec *O. glaberrima* ou *O. breviligulata*
- *O. glaberrima* avec *O. breviligulata*
- *O. longistaminata* avec les espèces autogames.

1. Hybrides entre *O. sativa* et *O. glaberrima* ou *O. breviligulata*

Les deux espèces cultivées, se retrouvent fréquemment en mélange dans les rizières. Malgré leur différence de précocité (*O. glaberrima* a généralement un cycle plus court) il n'est pas rare de remarquer, dans ce type de rizières, des plantes très vigoureuses, avec un grand nombre de panicules dressées, qui fleurissent abondamment et dont les épillets sont aristés mais qui restent stériles. Ces plantes sont très certainement issues d'hybridations naturelles entre les deux espèces cultivées. Des back-cross successifs sur l'un ou l'autre parent peuvent restaurer assez rapidement un niveau correct de fertilité. On peut donc considérer que les introgressions se réalisent spontanément entre les deux espèces. Ces individus hybrides se comportent comme des plantes pérennes et peuvent dans certains cas constituer des petites populations par éclatement de souche.

Les hybridations entre *O. sativa* et la forme adventice d'*O. breviligulata* peuvent se réaliser de la même façon surtout dans les rizières mal entretenues, où l'espèce sauvage n'est pas éliminée. Mais les hybrides obtenus ne sont pas morphologiquement distinguables des hybrides *O. sativa* × *O. glaberrima*. Les hybridations *O. sativa* avec la forme spontanée d'*O. breviligulata* sont certainement beaucoup plus rares car les deux espèces ne se rencontrent qu'exceptionnellement en mélange.

2. Hybrides entre *O. glaberrima* et *O. breviligulata*

Ces hybrides sont fréquents et fertiles en autofécondations sauf dans certains cas où ils peuvent présenter un arrêt de croissance (ce problème sera examiné à la p. 147). Il semble qu'entre la forme spontanée de l'espèce sauvage *O. breviligulata* et l'espèce cultivée *O. glaberrima*, nous ayons un continuum. Pour les différents caractères d'aristation, de pilosité des épillets, d'égrenage, de longueur des épillets, de ramification des panicules, tous les intermédiaires existent. Ces formes adventices à ligule courte que l'on rencontre en bordure des champs ou en mélange avec les variétés cultivées subissent les pressions de sélection dues à la culture et sont difficiles à éliminer. Elles ont tendance à envahir les rizières ce qui favorise les hybridations entre les deux espèces.

3. Remarque à propos d'*O. stapfii*

Parmi ces adventices, certaines sont caractérisées par des épillets noirs, trapus et velus, prolongés par une arête courte et fine. Elles pourraient correspondre à la définition d'*O. stapfii* et résulter d'hybridations naturelles entre les deux espèces *O. glaberrima* et *O. sativa*. *O. stapfii* avait été typifié par ROSCHEVICZ en 1931 par un spécimen d'herbier (CHEVALIER, 1937). Mais depuis, PORTERES (1956), MORISHIMA et al. (1963), TATEOKA (1964) puis BARDENAS et CHANG (1966) ont suggéré que *O. stapfii* et *O. breviligulata* soient considérés comme synonymes puisqu'aucun caractère ne permet de les distinguer clairement.

Même si ces formes adventices ont une grande parenté avec *O. glaberrima*, leur origine génétique peut être très variée, compte tenu des possibilités d'introggression entre espèces sauvages et cultivées ou entre espèces cultivées.

4. Hybrides entre *O. longistaminata* et les espèces autogames

O. longistaminata est très souvent présente dans les rizières, à l'état d'adventice, ou bien en bordure, dans les canaux d'irrigation. Cette confrontation géographique avec les autres espèces de riz rend donc les hybridations possibles. Mais contrairement à ce qui existe dans le groupe des riz asiatiques, le représentant africain d'*O. perennis*, est séparé des espèces autogames par une forte barrière reproductive. (CHU, MORISHIMA, OKA, 1969). Ces hybrides naturels sont donc très rares. Néanmoins, nous avons pu observer dans des champs plusieurs plantes, isolées, supposées hybrides: comme les hybrides entre *O. sativa* et *O. glaberrima*, ces plantes sont vigoureuses, fleurissent beaucoup et ne présentent que quelques épillets fertiles. Mais leur ligule est très longue et les panicules peu ramifiées sont portées très largement dégagées de la gaine de la feuille paniculaire. Ils n'ont pas de rhizomes. Dans d'autres cas, plus nombreux, nous avons pu récolter sur des panicules d'*O. longistaminata* des graines à albumen avorté, desséché, probablement issues de pollinisation par *O. breviligulata*: les deux espèces étant alors sympatriques.

IV. LES ESPÈCES CULTIVÉES ET LA RIZICULTURE EN AFRIQUE (Fig. 24)

L'existence d'une riziculture d'origine africaine trouve des preuves historiques dans les récits des premiers voyageurs, tant en ce qui concerne le delta central nigérien (CHEVALIER, 1932) que la Basse Casamance où les Diolas connaissaient les techniques telles que la construction des diguettes et le repiquage au moment de l'arrivée des Portugais (PELLISSIER, 1966). On peut donc penser que si la culture du riz asiatique s'est bien dévelop-

pée dans cette région c'est qu'il y existait déjà une riziculture aux techniques avancées. Malgré les introductions massives de variétés de l'espèce *O. sativa* on trouve encore assez fréquemment dans les zones de riziculture traditionnelle des petites parcelles ensemencées en *O. glaberrima* pur ou en mélange avec *O. sativa*. L'attachement des paysans au « vieux riz » est encore assez fort : ils lui trouvent certaines qualités organoleptiques supérieures à celles du riz asiatique. Pour les Diolas, c'est le riz qui donne la force et qu'ils réservent pour la période des durs travaux. Dans les conditions de culture flottante il semble mieux résister à la sécheresse qui peut survenir entre les premières pluies et le début de la crue. Pour certains riziculteurs, sa capacité à allonger ses entre-nœuds avec la crue, est supérieure à celle d'*O. sativa*.

Quelques caractères morphologiques simples permettent de distinguer les deux espèces :

— la ligule est arrondie et tronquée chez *O. glaberrima* et pointue bifide et longue chez *O. sativa*,

— à maturité, la panicule reste dressée chez *O. glaberrima* alors qu'elle retombe en forme de crosse chez *O. sativa*.

On note en général un plus grand nombre d'épillets sur les panicules de l'espèce asiatique qui d'autre part possèdent des ramifications d'ordre III et IV (PORTERES, 1956, pp. 252-254).

L'égrenage spontané est souvent plus important chez l'espèce africaine.

Dans tous les types de cultures, les deux espèces ont été rencontrées, *O. glaberrima* étant majoritaire en cultures flottante et pluviale alors que c'est l'espèce asiatique qui domine dans les rizières moyennes irriguées.

Le régime des rizières est fonction des conditions pluviométriques et de la topographie régionale. Nous allons considérer successivement les différents types de rizières que nous avons rencontrés en Afrique.

+ La riziculture de type flottant

Ce type de riziculture est caractéristique de la région du delta intérieur du Niger au Mali. La presque totalité des terres convient pour la culture du riz. Dans cette vaste zone inondable, la hauteur d'eau peut varier de 0,5 à 3 ou 4 mètres. Mais il n'y a pas de contrôle de l'eau et les facteurs qui vont déterminer l'emplacement des rizières seront :

- Le temps de submersion des terres, déterminant également le choix entre des variétés tardives et les variétés hâtives (cultivées sur les terres les plus hautes),

- La vitesse d'arrivée de la crue : dans les zones où un paysan craint une arrivée trop tardive de la crue, il sème dans les endroits les plus profonds. D'une manière générale ce sont les zones où la crue arrive le plus tôt qui ont la préférence du riziculteur.

Semées avec les premières pluies, les variétés de riz flottant possèdent la capacité d'accroître leurs entre-nœuds au fur et à mesure que le niveau d'eau monte de façon à ce qu'il y ait toujours des feuilles au-dessus de l'eau. La plupart des variétés flottantes ont un cycle long pouvant aller jusqu'à 6 mois. La récolte se fait en pirogue. Plusieurs passages sont nécessaires, la maturité étant souvent très étalée. Il y a beaucoup de perte et les rendements sont faibles.

+ **Culture irriguée naturellement par les cours d'eau,
sans contrôle de l'eau**

C'est le type de riziculture que l'on rencontre dans les vallées inondables des grands fleuves; vallée du fleuve Sénégal, haute vallée du Niger en Guinée et au Mali, vallée du Chari et du Logone au Tchad, et partout en zone soudanaise où les précipitations sont trop faibles.

Il s'agit ici de plaines ouvertes, semi-ouvertes ou fermées sur le fleuve, se situant dans une bande de un à deux km de large de part et d'autre du lit mineur du fleuve, soumises à une inondation périodique. Ces bourrelets d'alluvion sont constitués soit de sable et d'argile, soit d'argile grise

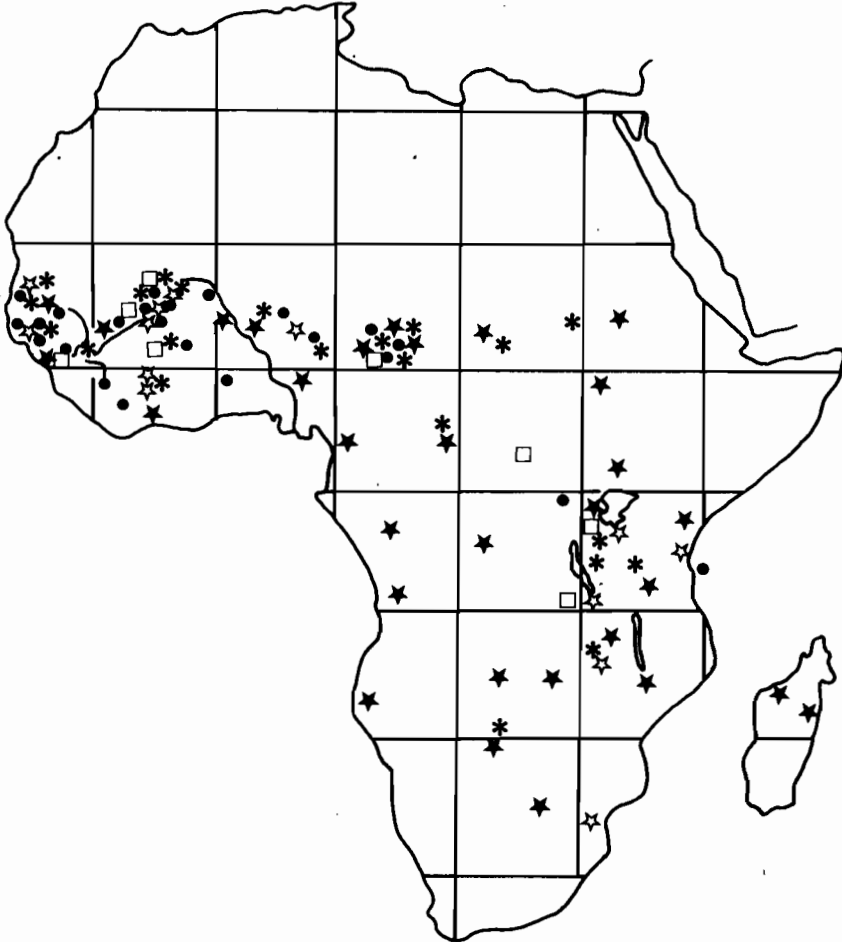


Figure 24: Carte sommaire de quelques localisations d'espèces du complexe des riz en Afrique.

O. glaberrima

O. breviligulata

O. longistaminata

O. eichingeri et *O. punctata*

O. brachyantha.

compacte. C'est là où la crue n'arrive pas trop vite et où la durée d'immersion est suffisamment longue que sont installées les rizières. On y cultive des variétés à cycle de longueur moyenne.

+ **Culture de type irrigué avec contrôle de l'eau**

C'est ce qui existe à l'Office du Niger au Mali, en Casamance et dans la région de Richard-Toll.

En Casamance, c'est dans les dépressions en « doigts de gant » des plateaux, que sont installées ces rizières. La végétation arborée est éliminée. Puis un labour est effectué et des billons sont élevés. Le terrain est quadrillé par un réseau de diguettes qui supprime le ruissellement et retient les eaux de pluies. A Richard-Toll, au Sénégal, des barrages empêchent la remontée d'eau salée venant de l'océan, et l'eau douce est pompée pour irriguer les casiers.

Dans ces types de rizières, *O. glaberrima* tend à disparaître bien qu'on le trouve encore parfois en mélange avec *O. sativa* ou en petites parcelles permettant de faire la « soudure ».

+ **Culture pluviale ou de plateau**

En sénégambie, ces rizières sont facilement repérables. Le riz est semé directement, sous les palmiers sur sol sableux et lessivé. Les variétés sont à cycle court et fréquemment d'*O. glaberrima*.

Dans l'ouest de la Côte d'Ivoire ce mode de culture du riz est également très fréquent, à flanc de colline ou bien en zone plus plane, de forêt. Le sous-bois est abattu ainsi que quelques gros arbres. Tout est brûlé en fin de saison sèche et le semis en poquet se fait le plus souvent sans aucun travail du sol. La deuxième année, c'est un mélange de riz et de maïs qui est cultivé avant abandon de la culture du riz et mise en place des cultures industrielles : café, cacao. Ce mode de riziculture pluviale est également très répandu en Guinée-Conakry où l'on compte un nombre considérable de variétés (beaucoup appartenant à *O. glaberrima*). C'est avec ce type de riziculture que l'on rencontre les variétés les plus précoces.

+ **Les rizières profondes conquises sur la mangrove en Basse Casamance, en Guinée-Bissau et en Guinée-Conakry**

En Casamance, le riz est d'une très grande importance (rites et sacrifices, localisation des villages). Les Diolas aménagent ces zones de mangrove où les eaux d'hivernage peuvent être retenues : il y a contrôle des eaux mais aussi transformation des sols. En Guinée maritime les Bagas pratiquent les mêmes techniques.

On peut résumer l'établissement de ces rizières en citant les principales étapes.

- Construction d'une importante digue pour protéger de la marée,
- Défrichement d'un périmètre à cultiver,
- Pendant deux ou trois hivernages, déssalage du sol : l'eau douce dissout les sels, et à marée basse l'eau chargée de sels est évacuée, grâce à des vannes pratiquées dans les digues,
- Labour profond avec édification de banquettes,
- Mise en culture sur le sommet de ces banquettes.

C'est dans ces rizières que le repiquage du riz se fait le plus tardivement (avec le plus souvent un cycle long).

Comme nous venons de le voir, la riziculture présente en Afrique une grande diversité au niveau des types de rizières auxquels sont associées des techniques culturales différentes.

Au point de vue richesse en variétés, l'espèce africaine *O. glaberrima*, présente une diversité moins importante que l'espèce asiatique *O. sativa*. Mais, pour l'une comme pour l'autre espèce, on peut trouver très fréquemment plusieurs types différents dans le même champ. Il semble que ceci soit une caractéristique de la riziculture africaine. Ces mélanges ne sont pas toujours dus au hasard. Souvent on peut constater que le paysan, à qui les sociétés de développement procurent une variété pure sélectionnée, va très rapidement reconstituer un mélange qui à ses yeux est meilleur, pour sa rusticité, sa résistance aux maladies et sa plasticité adaptative. Cette variabilité génétique peut être un tampon aux fluctuations de l'environnement. Ce sont les mêmes ethnies qui possèdent les meilleures techniques culturales et qui pratiquent une sélection: sélection peu sévère bien sûr, mais permettant d'éliminer des plantes soit trop sensibles aux maladies, soit s'éloignant de trop du type variétal. Ou bien au contraire, le paysan peut choisir au champ ou au grenier des plantes à caractères intéressants. Cette sélection porte le plus souvent sur les caractères de panicule, parfois également sur la hauteur de la tige ou la précocité. Ce type de sélection se fait généralement au sein d'une même famille. Néanmoins les échanges sont possibles, à l'intérieur d'un village ou entre villages. Mais la plupart du temps les variétés ne sont pas fixées et il y a un brassage continu au cours des générations.

Si l'on compare les rendements obtenus en Afrique à ceux obtenus dans les pays du bassin méditerranéen ou d'Amérique (du Nord et du Sud) ou d'Asie on s'aperçoit que la différence est importante. Très souvent en Afrique, les rendements sont inférieurs à 1 tonne/ha. Peut-on mettre en cause uniquement les faibles potentialités de l'espèce *O. glaberrima*? Pas seulement car bien souvent la vulgarisation des variétés asiatiques n'apporte pas les résultats escomptés. Un grand nombre de stations de recherche existent dans différents pays d'Afrique où les divers problèmes comme la sélection variétale, la fertilisation, le désherbage, la multiplication grainière, sont abordés; mais jusqu'à maintenant ces travaux n'ont porté que sur l'espèce asiatique. Il serait tout de même dommage d'abandonner l'espèce indigène *O. glaberrima* avant de connaître toutes ses potentialités.

Les conditions en Afrique, tant en ce qui concerne l'environnement et ses fluctuations, que les techniques culturales, ou l'encadrement et le financement de la riziculture, ne permettent pas une intensification de la culture du riz. L'utilisation d'engrais, la mécanisation sont encore très peu développées. Il semblerait donc que l'optique soit plutôt, sans vouloir atteindre des rendements-records, de définir les potentialités adaptatives de l'espèce africaine et les possibilités de les utiliser, en association avec les caractères de production de l'espèce asiatique.

V. LES PROSPECTIONS

A. PRÉPARATION ET ÉTABLISSEMENT D'UN PROJET

Nous allons présenter dans ce chapitre les éléments qui déterminent le choix du mode de réalisation d'une prospection.

1. Les buts de prospections

Les collections représentent le matériel de départ pour les programmes d'amélioration; on y trouve aussi bien des espèces cultivées qui peuvent être utilisées immédiatement (ce qui est rare) que des échantillons appartenant à des espèces sauvages n'ayant subi que les pressions de sélection naturelle, sans aucune intervention de l'homme, mais pouvant posséder des caractères particuliers intéressants, comme la résistance à une maladie par exemple.

Les prospections peuvent avoir aussi des buts beaucoup plus précis, plus ponctuels, comme l'étude d'une population particulière sur plusieurs années («prospections continues») ou encore la recherche de formes hybrides interspécifiques. Bien souvent, une première étape consiste effectivement en une prospection «extensive» suivie d'une deuxième étape dont les buts sont plus précis.

2. Connaissance des différentes espèces à prospector

Cette connaissance des espèces, comprend leur morphologie, leur aire de répartition, leur date de maturité et leurs exigences écologiques. Il s'agit en fait d'un important travail de recherche bibliographique et expérimental. Les relevés d'herbiers permettent d'avoir une première idée de l'aire de répartition des espèces, même s'ils ne sont pas exhaustifs. Il faut insister, sur l'importance primordiale de la localisation géographique précise des échantillons, qu'ils soient d'herbiers ou de collections. Bien sûr, les paysages pourront être transformés ou bouleversés, naturellement ou sous l'influence de l'homme, mais une indication précise permet alors de ne pas avoir de doute.

La connaissance des espèces sous-entend également la connaissance du système de reproduction. Le complexe des riz comprend des espèces autogames et d'autres allogames. Les méthodes d'échantillonnage, le nombre de populations et de plantes par population à collecter, ne seront pas les mêmes.

Un grand nombre de plantes de quelques populations pour une espèce allogame chez laquelle la variabilité intrapopulation est importante, et le plus possible de populations pour une espèce autogame chez laquelle la variabilité interpopulation est bien plus importante que la variabilité intrapopulation mais ces formules mnémotechniques sont loin d'être rigoureusement valables et doivent être amendées en fonction des connaissances directes acquises.

3. Organisation pratique

Sous ce titre nous comprenons tout ce qui a trait à l'organisation pratique, matérielle et temporelle de la mission. A savoir :

- Dans le pays à visiter, les possibilités d'accueil, de déplacement et les possibilités de ravitaillement en carburant, etc...
- Les zones principales de culture, les moyens d'y accéder
- Les périodes de maturité des différentes espèces sauvages et cultivées.

La prise en compte de ces différents points permet, une fois sur place, d'avoir le moins possible de problèmes pratiques, et de respecter le calendrier. Beaucoup d'espèces de riz sont annuelles, et il faut pouvoir réaliser les échantillonnages au bon moment, pour qu'ils soient efficaces. Pour les espèces sauvages par exemple, la marge de manœuvre est très étroite entre la maturité et l'égrenage. L'expérience a montré qu'à chaque fois qu'une pré-mission (consistant à passer quelques jours dans le pays quelques temps avant la prospection, pour régler les principaux problèmes pratiques) a pu être effectuée, la prospection s'est alors déroulée dans les meilleures conditions.

Considérant tous ces différents éléments il est alors possible d'établir un projet de prospection précis mais assez souple pour permettre des modifications en cours de prospection.

Par rapport au temps et au travail que nécessiteront l'évaluation et l'utilisation du matériel végétal collecté, la prospection peut sembler avoir une importance bien dérisoire mais c'est d'elle que dépend toute la suite.

B. FINANCEMENT ET PLANIFICATION DES COLLECTES AU NIVEAU INTERNATIONAL

Nous allons donner ici un exemple de planification de prospection des différentes espèces de riz en Afrique intéressant plusieurs instituts de recherche français et internationaux: IRAT, ORSTOM, IITA, IRRI, ADRAO, IBPGR*.

Cette collaboration entre instituts de recherche concernés par la conservation des ressources génétiques des riz est née de la prise de conscience de l'importance de certaines espèces sauvages et de la vitesse de disparition de l'espèce cultivée d'origine africaine *O. glaberrima*. Deux organismes sont chargés de la coordination, l'ADRAO (pour l'Afrique de l'Ouest) et l'IBPGR (organiser les infrastructures et assurer l'appui logistique indispensable aux missions sur le terrain).

Lors d'une première réunion sur les espèces africaines de riz (1977) divers points ont été abordés:

- phylogénie des riz
- utilisation pour l'amélioration variétale des réservoirs géniques non cultivés
- utilisation d'*O. glaberrima*.

* Voir Index pour les abréviations.

A la suite de ces discussions, le tableau 28 faisant apparaître en fonction des espèces, le degré d'urgence et la technique de collecte, a pu être élaboré.

Lors de cette réunion ont également été proposées les méthodes de collecte et les zones à collecter, à savoir:

— Echantillonnage systématique des formes cultivées là où elles existent et particulièrement là où *O. glaberrima* se maintient bien face à *O. sativa*.

— Recherche des formes les plus marginales d'*O. glaberrima* et des *O. sativa* traditionnels.

— Collecte des *O. breviligulata* spontanés, dont la distribution est très importante.

— Echantillonnage de quelques populations d'*O. longistaminata* de l'ensemble de l'Afrique et Madagascar.

Chaque institut présente alors ses projets et ses possibilités:

- IRAT-ORSTOM: prospection des espèces cultivées et des espèces sauvages et évaluation.

TABLEAU 27

ESPECES	INTERET	TECHNIQUE DE COLLECTE	DEGRE D'URGENCE (vitesse de disparition)
<i>Oryza longistaminata</i>	Allogamie incomplète Diversité génétique concentrée à l'intérieur des populations	Echantillonner à fond quelques populations	Modéré à exploiter à long terme
<i>Oryza breviligulata</i>	sauvage: variabilité interne facile à croiser avec <i>O. glaberrima</i>	Echantillonner populat. hors zones de <i>O. glaberrima</i> large dispersion	Rapide (sécheresse)
	Advençice: mimétique de <i>O. glaberrima</i>	Simultanée avec <i>O. glab.</i> difficultés liées à l'égrenage spontané	Comme <i>O. glaberrima</i>
<i>Oryza glaberrima</i>	Diversité — Adaptation Qualités particulières	Echantillon modéré sur l'ensemble de l'aire dispersion	Rapide sauf points de résistance à <i>O. Sativa</i> mais d'intérêt immédiat
<i>O. sativa</i> (traditionnels en Afrique)	Adaptabilité éprouvée	Collecte — Travail d'enquête sur l'ancienneté de l'introduction	Assez rapide Mal protégés

Résumé des caractéristiques les plus importantes guidant les stratégies de collectes des principales espèces du génome A des *Oryza* africains (IRAT, ORSTOM, 1977).

- IITA: multiplication et régénération des semences et prospection des espèces cultivées.
- IRRI: stockage à long terme.
- ADRAO: coordination.
- IBPGR: coordination mais uniquement dans le domaine de la conservation et non de l'évaluation.

Les représentants de ces mêmes instituts se sont retrouvés à IBADAN (Conférence Rice in Africa, 1977) pour préciser ce projet de prospection des riz africains et en évaluer le coût. Et c'est en 1978 à Los Banos (Philippines) que l'ensemble du projet et son financement ont été acceptés, lors d'un séminaire sur la conservation des ressources génétiques du riz (Tableau 28).

La liste des prospections effectuées par l'ORSTOM et l'IRAT de 1974 à 1979 est reportée tableau 29 ainsi que la ventilation par espèce des échantillons récoltés.

C. RÉALISATION PRATIQUE DES PROSPECTIONS

1. L'équipe de prospection

La prospection ne consiste pas en une simple cueillette du plus grand nombre d'échantillons possible. Il s'agit d'essayer par un échantillonnage réfléchi et adapté, de rassembler le maximum de variabilité. S'il est convenable d'envisager la spécialisation de « collecteurs » l'expérience montre que les résultats sont bien meilleurs lorsque le chercheur travaillant sur telle ou telle plante, effectue lui-même la prospection. En effet, ce qu'il envisage comme études ultérieures pourra le guider au cours de la collecte, et d'autre part les observations effectuées durant la prospection orienteront ses travaux.

L'unité de base de l'équipe de prospection sera donc constituée par un ou deux généticiens, auxquels il peut s'avérer nécessaire d'adjoindre un botaniste écologiste. D'autre part, dans chaque pays visité, les services de la recherche ou de l'agriculture proposeront un chercheur national pour participer à la mission: l'aide que ce dernier peut apporter est appréciable principalement par sa bonne connaissance de la riziculture de son pays et également par la facilité de contact lors des enquêtes. En effet, les grandes zones de riziculture ne posent pas de véritable problème: grâce aux services nationaux de l'agriculture il est souvent assez facile de les visiter. Par contre, la recherche de populations naturelles qui dans certains cas sont éloignées des rizières, nécessite des enquêtes auprès des habitants.

Comme il a été remarqué dans le paragraphe précédent, lorsqu'il s'agit d'une plante annuelle, la question « temps » est prépondérante si l'on veut réaliser une prospection efficace. Même si une pré-mission a permis d'éliminer les importantes pertes de temps dues à l'organisation pratique, il arrive fréquemment sur le terrain, que l'itinéraire soit modifié, quelle qu'en soit la raison. En fonction du temps disponible des priorités seront décidées: c'est ainsi que les prospecteurs choisissent de prospecter une zone à populations naturelles, avant que toutes les plantes soit égrenées, plutôt qu'une zone de culture, d'où ils pourront toujours obtenir les principales variétés, même après la récolte.

2. Recherche des populations spontanées

Nous avons vu qu'il était utile de connaître la situation géographique précise des échantillons relevés dans les herbiers. Mais ces herbiers ne sont pas exhaustifs et ne rendent pas compte de toutes les populations

TABLEAU 28

Extrait de la planification des collectes en Afrique prévues pour les années 1979-80 (séminaire Ressources Génétiques riz IRRI, 1977).

Pays	Organismes de coordination ou d'exécution	Provinces ou districts	Espèces ou types variétaux	Calendrier	Origine du financement	
					Nationale	Locale
1978						
Sénégal	IRAT	Casamance	<i>sativa</i> ou <i>glaberrima</i>	Oct-Nov		locale
Sénégal & certaines zones de Mauritanie	ADRAO	Richard-Toll	<i>sativa</i> ou <i>glaberrima</i>	Nov-Déc		
Mali	ADRAO	Mopti, Segou, Tombouctou, Gao	<i>glaberrima</i> et <i>sativa</i>	1978-80 Déc-Fév.		locale (financement extérieur pour le transport)
Guinée-Bissau	ORSTOM		<i>glaberrima</i> et <i>sativa</i>	Oct-Déc	CIRP (déjà prévu)	
Guinée-Conakry	IRAT					
Ghana	IITA	Partiellement réalisée en 1976, à continuer en coopération avec l'ADRAO en 78-79				
Bénin	IITA		espèces sauvages (<i>longistaminata</i>)	Nov-Déc		locale
Zambie	ORSTOM IRAT		espèces sauvages et adventices (<i>sativa</i> , <i>glaberrima</i>)	Avr-Juin	CIRP (à demander)	

Pays	Organismes de coordination ou d'exécution	Provinces ou districts	Espèces ou types variétaux	Calendrier	Origine du financement	
					Nationale	Locale
Madagascar	ORSTOM IRAT		espèces sauvages et adventices <i>sativa</i>	Avr-Mai	CIRP (à demander)	
1979						
Gambie	ADRAO, IITA		<i>sativa</i> ou <i>glaberrima</i> (flottant), mangrove	Oct-Déc		locale
Mali	IITA	Bamako	<i>glaberrima</i> et <i>sativa</i>	Oct		locale
Mali & certaines zones de Haute Volta	IITA	Sikasso	<i>glaberrima</i> et <i>sativa</i>	Nov		locale
Niger	ORSTOM IRAT	lac Tchad	<i>glaberrima</i> et <i>sativa</i> espèces sauvages et adventices	Nov-Déc	CIRP (à organiser)	
Tanzanie	ORSTOM IRAT		espèces sauvages et adventices <i>sativa</i> , <i>glaberrima</i>	Avr-Jan	CIRP (à organiser)	

Pays	Organismes de coordination ou d'exécution	Provinces ou districts	Espèces ou types variétaux	Calendriers	Origine du financement	
					Nationale	Locale
1980						
Haute Volta	ADRAO IRAT (CERC)	de Farokoba à Banfora	<i>glaberrima</i> et <i>sativa</i>	Oct-Nov	Fonds extérieurs nécessaires	
Niger	ORSTOM, IRAT	ouest et sud-ouest	<i>glaberrima</i> et espèces sauvages	Nov-Déc	peut être CIRP	
Afrique centrale		sud Soudan, Zaire Ouganda, Congo	explorations difficiles pour des raisons soient politiques ou logistiques.			

Cueillettes d'*Oriza longistaminata* dans la région du lac Tchad



Environ 20 panicules sont liées ensemble pour les préserver de l'égrenage naturel (forte densité de plantes)

Cueillettes d'*Oriza longistaminata* dans la région du lac Tchad



Récolte à l'aide d'un panier (plantes plus dispersées)

TABLEAU 29

Prospections: échantillons prospectés par l'ORSTOM et l'IRAT depuis 1974.

Pays prospectés	Année	Financement	NOMBRE D'ECHANTILLONS PAR ESPÈCE							
			<i>O. sativa</i>	<i>O. glaberrima</i>	<i>O. breviligulata</i> spontanée	<i>O. breviligulata</i> adventice	<i>O. longistaminata</i>	<i>O. brachyantha</i>	<i>O. punctata</i>	<i>O. eichingeri</i>
Mali	oct-déc. 1974	ATP CNRS	–	101	–	53	8	2	–	–
Sénégal	oct. 1974 janv. 1975	ATP CNRS	31	283	9	30	44	–	–	–
Mali Delta int. du Niger	nov. déc. 1975	ATP CNRS	8	41	–	(53)	36	–	–	–
Haute Volta	oct. 1976	ATP CNRS	4	14	3	5	7	1	–	–
Côte d'Ivoire	nov. 1976	ATP CNRS	24	26	1	–	2	–	6	1
Mali, périphérie du delta	nov. 1977	IBPGR, IRRI, IITA IRAT, ORSTOM	1	–	25	1	5	7	–	–
Sénégal, région du fleuve Sénégal	déc. 1977	"	1	3	12	(8)	6	–	–	–
Tchad, lac et région Sud	nov. 1977	"	16	12	49	(2)	8	1	3	–
Nord Cameroun	déc. 1977	"	14	16	13	(7)	10	3	1	–

Pays prospectés	Année	Financement	NOMBRE D'ECHANTILLONS PAR ESPÈCE							
			<i>O. sativa</i>	<i>O. glaberrima</i>	<i>O. breviligulata</i> spontanée	<i>O. breviligulata</i> adventice	<i>O. longistaminata</i>	<i>O. brachyantha</i>	<i>O. punctata</i>	<i>O. eichingeri</i>
Côte d'Ivoire	nov. 1977	"	394	15	–	–	–	–	–	–
Zambie	mai-juin 1978	"	20	–	4	–	10	–	–	–
Guinée Bissau	nov.déc. 1978	"	134	47	2	4	7	–	–	–
Tanzanie	mai-juin 1979	"	53	3	6	–	12	2	8	1
Guinée-Conakry	nov.déc. 1979	"	296	75	5	–	3	–	–	–
Totaux:			996	636	129	163	158	16	18	2

pouvant exister. Un important travail d'enquête est alors nécessaire. Même si les prospecteurs sont accompagnés d'un chercheur national, le problème de la langue peut se poser et la meilleure solution est de posséder un échantillon de l'espèce recherchée et de pouvoir le présenter aux personnes interrogées.

Il faut remarquer également qu'après plusieurs expériences, particulièrement dans le cas du riz, le prospecteur s'est fait une idée bien précise des exigences écologiques de chaque espèce qu'il recherche et qu'il arrive à « sentir » la présence de telle ou telle espèce.

3. Echantillonnage

Les méthodes d'échantillonnage sont difficiles à fixer de façon théorique et surtout à respecter car de nombreux facteurs seront susceptibles d'intervenir pour contrecarrer les prévisions. Néanmoins nous pouvons, en ce qui concerne le riz, citer quelques points importants dont dépendent les méthodes d'échantillonnage.

+ Le système de reproduction

O. longistaminata espèce pérenne allogame peut exister en grandes populations assez fertiles que l'on peut échantillonner en récoltant un vrac important de graines, provenant d'un grand nombre de plantes dispersées dans la population. Cette espèce existe également en petites populations très stériles parfois constituées de touffes issues d'un même pied mère, que l'on ne peut échantillonner que sous forme de boutures de tiges ou de rhizomes, en faisant des prélèvements suffisamment espacés pour ne pas avoir toujours le même génotype. Pour cette espèce allogame, la variabilité intrapopulation étant importante, l'échantillonnage de quelques grandes populations fertiles représentant chaque région du continent devrait révéler le maximum de variabilité.

L'autre espèce sauvage *O. breviligulata* est autogame, la forme spontanée se rencontre en populations petites ou moyennes, parfois isolées des zones rizicoles, et avec une très large distribution géographique. C'est entre les populations et non pas à l'intérieur des populations que la variabilité est la plus importante. Dans ce cas il sera nécessaire d'échantillonner le plus grand nombre possible de ces populations si l'on veut collecter le maximum de variabilité que renferme l'espèce.

+ **Le type de plante** : à savoir s'il s'agit d'une forme sauvage ou cultivée ou encore d'une plante bien particulière (hybride interspécifique spontané par exemple).

Nous venons de voir qu'en fonction du système de reproduction deux cas étaient envisageables quant au nombre de populations à échantillonner : les quantités de graines à récolter sont difficiles à définir, en particulier pour les espèces sauvages.

En ce qui concerne les espèces cultivées, il est très rare que nous soyons en présence d'une variété absolument pure. Il s'agit très souvent de populations variétales ou de mélanges (voulus ou tolérés) de variétés ou d'espèces, liés par ce que PORTERES appelait le « compagnonnage agraire ». C'est-à-dire que pour ce mélange, un certain nombre de caractères (couleur des glumelles, hauteur, précocité,...) sont homogènes et

d'autres (pilosité) sont hétérogènes. Ces populations variétales ont évolué sous l'influence du temps et des migrations, donnant parfois naissance à d'autres « mélanges ».

Les mécanismes de l'évolution ou du maintien de ces mélanges sont intéressants à rechercher. L'échantillon devra donc être constitué d'un assez grand nombre de panicules (≈ 100) prélevées au hasard dans le champ à raison d'une panicule par plante, afin qu'il représente au mieux la population variétale.

+ **Les objectifs fixés pour l'analyse ultérieure des échantillons** influent également sur le mode de prélèvement de ces échantillons. La mise en évidence d'une hétérozygotie résiduelle dans une espèce autogame, la comparaison des divers niveaux de variabilité intra-inter population et intra-inter famille nécessitera un échantillonnage sous forme de panicules individualisées, chaque panicule représentant une plante de la population initiale. Lorsqu'il est praticable, ce mode d'échantillonnage est conseillé car il permet le plus grand nombre d'analyses par la suite.

+ **Lorsque toutes les graines sont tombées au sol**, c'est souvent le cas des populations sauvages échantillonnées trop tard, on peut prélever en vrac, et en plus, 1 graine tous les 2 ou 3m², ce qui donnera un échantillon à 1 graine par plante.

+ **Enfin nous pouvons signaler que** l'échantillonnage peut être biaisé par des facteurs d'ordre purement matériel. Par exemple une population d'*O. breviligulata* en zone d'eaux profondes ne peut être correctement échantillonnée que si l'équipe de prospection peut disposer pendant plusieurs heures d'une embarcation en bon état qui lui permet de collecter le maximum de grains sur la plus grande étendue de la population. Un tel échantillon est plus représentatif de la population que celui constitué de graines prélevées uniquement en bordure de la population, si l'on ne dispose pas d'embarcation.

4. Conditionnement du matériel végétal

L'idéal serait de pouvoir sécher les échantillons de graines collectés chaque jour. Cela n'est pratiquement jamais possible. Néanmoins les missions ne sont pas trop longues pour que les échantillons prélevés les premiers et conservés dans des sachets de papier soient en « mauvais état » à la fin de la prospection. Un traitement insecticide des graines peut être utile.

Les prélèvements sous forme de bouture de tige ou de rhizomes sont plus délicats à conserver surtout lorsqu'ils ne peuvent être déposés nulle part. Mais cette méthode ne s'utilisant que pour *O. longistaminata* qui a un très haut pouvoir de reprise, les pertes sont très limitées.

D. ÉVOLUTION DES PROSPECTIONS

Il est assez rare de pouvoir visiter le même pays plusieurs fois de suite. Mais nous avons eu cette chance pour le MALI et plus particulièrement pour le delta intérieur du fleuve Niger, centre important de variabilité des espèces de riz africains.

Une première prospection réalisée dans cette zone a permis de collecter un nombre important d'échantillons de chacune des trois espèces: *O. glaberrima*, *O. breviligulata*, *O. longistaminata*. Les premiers résultats de l'analyse globale de la variabilité de ces espèces, ainsi que de nouvelles données bibliographiques ont orienté différemment les prospections qui ont eu lieu dans ce pays les années suivantes.

— sur le plan géographique, c'est en périphérie de cette zone inondable que nous avons choisi de rechercher les populations spontanées d'*O. breviligulata*.

— sur le plan de l'échantillonnage: nous avons conclu qu'il nous suffisait d'échantillonner quelques grandes populations fertiles d'*O. longistaminata* pour espérer rassembler le maximum de variabilité que renferme cette espèce allogame, alors que pour *O. breviligulata*, espèce autogame, il était nécessaire d'échantillonner le plus grand nombre possible de populations.

Nous avons donc, grâce aux observations faites lors de la première prospection et grâce aux premiers résultats des analyses de laboratoire, affiné et précisé les orientations à suivre lors des prospections successives. La recherche des populations plurispécifiques pouvant montrer des formes introgressées résultait de la même démarche.

Les informations apportées par l'observation des populations naturelles en place se révèlent du plus haut intérêt: un «collecteur» chargé de récolter trois ou quatre types de plantes très différents pendant une prospection, ne pourra pas prêter attention à tout ce qu'il pourrait remarquer. C'est pour cette raison que le prospecteur doit être la personne qui étudiera et analysera le matériel collecté, et qu'il ne doit prospecter qu'un seul complexe d'espèces, ne s'intéresser qu'à un seul type de culture.

E. RAPPORT DE MISSION ET EXEMPLE DE FICHE ACCOMPAGNANT LES ÉCHANTILLONS

Les échantillons collectés ne sont pas exclusivement réservés aux prospecteurs. En effet, nous avons vu que les projets de prospection sont le fruit de la collaboration de plusieurs instituts et que les financements sont également internationaux.

Un lot d'échantillons est d'abord laissé dans le pays d'accueil puis ensuite des lots sont envoyés à chaque organisme participant aux programmes de conservation des ressources génétiques. Il faut que ces échantillons soient accompagnés d'une part d'un rapport et d'autre part de fiches descriptives de chaque échantillon.

Le rapport doit rendre compte des activités des prospecteurs, relater leur itinéraire et signaler les personnes rencontrées au cours de la mission, mais chose plus importante, il doit contenir des renseignements sur le milieu (climatologie, géographie) sur les espèces cultivées (leur importance, leur aire de répartition, leurs exigences écologiques).

Les fiches descriptives ont elles aussi une grande importance: elles portent d'abord un numéro, qui bien sûr n'est pas universel, chaque institut, ou presque, ayant des numéros d'introduction. Elles signalent également le nom de l'espèce et la situation géographique précise du lieu de collecte.

Fiche de prospection

Prospection		IRAT - ORSTOM _____		année 1977	N° :	_____
		pays				
Prospecteur _____		région _____		éthnie _____	date	_____
				long. :		
Lieu de récolte axe :		_____		village _____	km après _____	lati. :
Plante :	O. sativa	O. brèv.	_____	_____		
	O. glab.	O. longis.	autre _____	vernaulaire _____		
Forme : sauvage - adventice - cultivées						
Type déch. : graine - partie végét. - hercier - photo + proven : hors culture - champ - grenier - marché						
Habitat :		plateau - ecl hydro - rizière		contrôlée		
				oui		
				non		
Pop. :	mono.	spécif.	vaste	isolée	propre	
	pluri.		moyenne	en bordure	infestée m.h.	
			petite	zone cultivée		
Agro.	long	noir	oui	long	blanc	verse - non
	rond	fauve	non	court	rouge	égrenage - non
		blanc			autre	maladie - non
	graine	couleur	arête	glume	caryopse	cycle
Commentaire :						Idem. précédent

Pour les espèces cultivées, un nom vernaculaire s'il existe et quelques caractéristiques agronomiques. Pour les espèces sauvages les associations végétales sont décrites.

Ces fiches accompagnent les échantillons là où ils sont stockés:

- à l'IRRI: conservation à long terme à très basse température, à moyen terme et court terme.
- dans les autres organismes: conservation à moyen terme (chambre froide entre 0 et 5° C)

Remarque: une collection de l'espèce pérenne *O. longistaminata* sous forme de plantes vivantes existe à l'ORSTOM en Côte d'Ivoire.

VI. ÉVALUATION DE LA VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE, DES BARRIÈRES REPRODUCTIVES ET DES RELATIONS PHYLOGÉNÉTIQUES ENTRE LES DIVERSES ESPÈCES DE RIZ (GROUPE SATIVA GÉNOME AA)

Parmi les problèmes variés de l'évaluation génétique (Tome 2), nous choisirons dans le cas du riz les problèmes particuliers liés à l'utilisation de l'ensemble des formes du complexe et particulièrement des formes spontanées.

Utiliser une espèce sauvage dans un programme d'amélioration des plantes, c'est en quelque sorte renouveler le processus de domestication. Deux problèmes sont posés: Comment découvrir un caractère ou un complexe de caractères coadaptés intéressants et comment le transférer dans une structure apte à la culture et à la consommation.

Pour découvrir un caractère intéressant (résistance à un parasite ou à un facteur climatique ou édaphique; modification du système de reproduction; adaptabilité; caractéristiques chimiques ou organoleptiques etc...) on est conduit à une expérimentation lourde et il n'est pas possible d'étudier un très grand nombre d'individus. Il est alors très utile d'être guidé par la connaissance de la variabilité génétique de chaque espèce. Il s'agit tant de la variabilité relative interspécifique que de la façon dont elle est stockée: variabilité cachée (hétérozygotie), variabilité inter et intrapopulation (aspect géographique)... En d'autres termes il s'agit de savoir comment l'on doit pratiquer l'échantillonnage restreint à étudier.

Il ne sert à rien de découvrir un caractère intéressant si l'on est incapable de le transférer dans une structure domestiquée: d'où l'aspect important de l'étude des barrières reproductives.

Outre le choix des espèces «accessibles» pour le transfert, la connaissance des barrières reproductives permet de comprendre la dynamique de l'évolution des complexes d'espèces par la possibilité des introgressions. Connaître le déterminisme d'une barrière reproductive peut également permettre de la surmonter et de rendre plus accessible un compartiment éloigné.

Nous verrons, dans l'exemple du riz, l'état des connaissances sur les questions de la variabilité génétique et des barrières reproductives. Les travaux concernant l'évaluation agronomique et technologique des riz sauvages sont encore peu avancés. Citons cependant l'exemple de la seule source de résistance au « grassy stunt virus » découverte dans l'espèce *O. nivara* (CHANG et al., 1977) et nous renvoyons le lecteur aux travaux de l'IRRI et de l'IRAT, entre autres.

A. LES RELATIONS PHYLOGÉNÉTIQUES ET LA VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE DES ESPÈCES

Après une brève revue des données bibliographiques, nous étudierons les confirmations ou remises en cause résultant des travaux de l'équipe ORSTOM par électrophorèse d'isoenzymes.

1. Données bibliographiques

OKA (1974 et 1977) dans la revue des travaux effectués dans son laboratoire au Japon depuis 1957 sur le thème « Etudes sur l'origine du riz cultivé », conclut à l'existence de deux séries évolutives des riz cultivés (fig. 25):

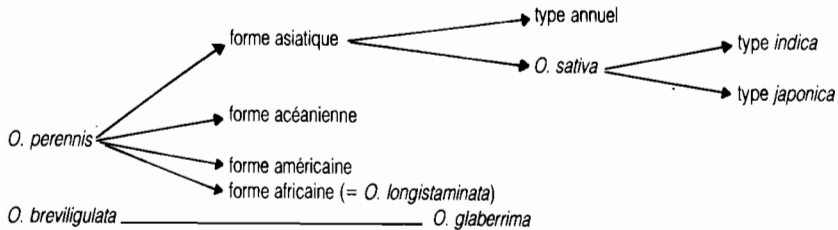


Figure 25: Séries évolutives des riz cultivés d'après OKA (1974, 1977)

L'espèce *O. perennis*, ancêtre d'*O. sativa*, est divisée par des méthodes de taxonomie numérique en quatre groupes géographiques asiatique, africain, américain et océanien; *O. longistaminata* est ainsi considéré comme le représentant africain d'*O. perennis*. Des associations de caractères distinguent les groupes géographiques (mais aucun caractère simple): par exemple, *O. longistaminata* est caractérisé par la présence constante de rhizomes mais certaines lignées *O. perennis* asiatiques en présentent aussi. Les relations de stérilité mâle au niveau F1 renforcent la classification proposée indiquant l'évolution indépendante des groupes géographiques. L'ancêtre commun aurait été intermédiaire entre les formes asiatiques et africaines (MORISHIMA, 1969).

Le groupe asiatique se compose d'un continuum de formes annuelles et pérennes. Généralement les lignées pérennes ont un fort potentiel de reproduction végétative et sont plus allogames que les lignées annuelles. Différents caractères conditionnant le système de reproduction sont cor-

rélés (OKA et MORISHIMA, 1967). Les plantes pérennes se trouvent généralement dans des habitats stables, profondément inondés ; les populations annuelles se rencontrent plus fréquemment dans les mares temporaires.

Les différents groupes d'*O. perennis* et *O. sativa* forment la série *Sativa* alors qu'*O. breviligulata* et *O. glaberrima* constituent la série *glaberrima* qui inclut *O. stapfii* considéré comme synonyme d'*O. breviligulata*. Les deux séries sont principalement différenciées par la ligule: longue, pointue et bifide dans la première, courte et tronquée dans la seconde.

Rien n'est dit sur l'origine d'*O. breviligulata*.

L'ancêtre d'*O. sativa* est considéré comme étant une plante pérenne ou intermédiaire pérenne-annuelle mais en aucun cas annuelle.

Les variétés d'*O. sativa* sont divisées en deux types: *indica japonica*. Les variétés appelées *javanica* seraient un type tropical de *japonica* et il y a de nombreux intermédiaires *indica-japonica*. Les deux types auraient une origine monophylétique et auraient évolué conjointement par différenciation sous l'effet d'un facteur inconnu (adaptation à la culture pluviale?).

Parmi les deux types cultivés, les variations géographiques sont surprenantes et on dénombre plusieurs «écotypes» qui diffèrent par des caractéristiques agronomiques et morphologiques mais aussi par leur réponse à la photopériode et à d'autres facteurs. La dispersion géographique aurait joué un grand rôle dans la différenciation variétale dans chaque type (concept de Non-Centre).

Les types *indica* et *japonica* ne se retrouvent pas dans *O. glaberrima* dont les variétés se distinguent principalement en types «dressés» et «flottants». La variabilité d'*O. glaberrima* est plus réduite que celle d'*O. sativa*.

Dans les deux séries, les plantes cultivées se distinguent des individus sauvages par les mêmes caractères: absence d'égrenage spontané, réduction ou suppression de l'arête, disparition rapide de la dormance, grand nombre de grains par panicules...

Des essaïms d'hybrides et des plantes intermédiaires sauvages cultivées sont rencontrés dans certaines régions pour les deux séries (en particulier dans la province de Jeypore dans l'Est de l'Inde et dans le delta central du Niger au Mali).

Les populations de la forme pérenne d'*O. perennis* contiennent plus de variabilité génétique que celles d'*O. breviligulata* (Variabilité lue tant en terme de taxonomie numérique, de caractères variés que par électrophorèse des peroxydases, phosphatases acides et estérases).

Dans une synthèse des données disponibles dans tous les domaines, CHANG (1976 b) propose une théorie de l'évolution des riz selon le diagramme de la figure 26.

L'origine du genre *Oryza* serait à rechercher dans le territoire ancien du Gondwana. La distribution des espèces est conforme à la fracture du supercontinent. Après leur séparation, les groupes géographiques ont évolué indépendamment et les deux espèces cultivées sont apparues selon la séquence suivante:

ESPÈCE SAUVAGE PERENNE →→→ ESPÈCE SAUVAGE ANNUELLE →→→→ ESPÈCE CULTIVÉE

La culture du riz commença en différentes parties de l'Asie du Sud et du Sud-Est, probablement tout d'abord en Inde. L'énorme dispersion des

cultivars asiatiques a conduit à la formation de trois races écogéographiques principales: *indica*, *sinica* ou *japonica* et *javanica*.

Les cultivars africains ont été développés ultérieurement. Tous évoluent encore, là où les formes sauvages, adventices et cultivées coexistent, par introgressions réciproques.

Pour les chercheurs indiens, *O. perennis* représente l'ancêtre commun mais selon les auteurs, l'origine d'*O. breviligulata* est controversée. Pour RICHARIA (1960) cette espèce est issue des rizières d'*O. glaberrima* par introgression avec *O. longistaminata* alors que pour SAMPATH (1973) elle est apparue par autofécondation d'*O. longistaminata*. Ces deux auteurs admettent l'évolution indépendante des deux espèces cultivées.

Pour NAYAR (1973) au contraire, *O. glaberrima* représente une introduction ancienne (par les Arabes vers le 7ème-10ème siècle) d'*O. sativa* en Afrique de l'ouest. Elle aurait été suivie de différenciation. *O. breviligulata* aurait pour origine une hybridation entre *O. glaberrima* et une nouvelle introduction d'*O. sativa* par les Portugais au 16ème siècle. L'hybridation aurait été suivie de back-cross sur le parent *O. glaberrima*.

En résumé, s'il y a accord général sur le fait que les relations phylogénétiques des riz cultivés sont à rechercher parmi les espèces sauvages qui partagent le génome A, les différents schémas d'évolution sont controversés.

Les parentées très fortes entre *O. perennis* et *O. sativa* et entre *O. breviligulata* et *O. glaberrima* sont admises par tous mais le statut d'*O. breviligulata* est controversé: espèce dérivée d'*O. glaberrima* ou ancêtre de cette dernière.

Un autre problème est l'origine d'*O. stapfii*: synonyme ou non d'*O. breviligulata*.

Enfin, le problème fondamental est de savoir s'il existe ou non un centre de variabilité pour le groupe *sativa* et quelle(s) espèce(s) le constituerait(ent)?

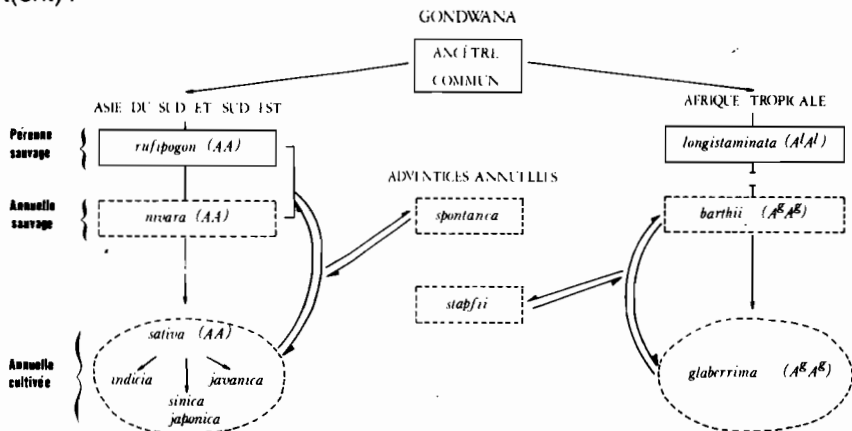


Figure 26: Lignées évolutives de deux espèces cultivées de riz. Les taxons encadrés de lignes continues sont pérennes et sauvages. Ceux entourés de lignes discontinues sont annuels. Les flèches en lignes continues indiquent une descendance directe. Celles avec une ligne brisée indiquent une descendance indirecte. Les doubles flèches indiquent des hybridations introgressives (Adapté de CHANG, 1976a).

2. Etude du polymorphisme enzymatique effectuée par l'ORSTOM

a. Généralités

Le programme d'évaluation entrepris par l'ORSTOM et l'IRAT comprend principalement trois thèmes :

1) Analyse de la structure de la variabilité des espèces sauvages et des cultivars traditionnels par utilisation de l'électrophorèse d'isoenzymes, des méthodes de taxonomie numérique et de la génétique quantitative.

2) Etude du déterminisme des barrières reproductives et des possibilités de transferts géniques interspécifiques — Etude du déterminisme de l'autoincompatibilité chez *O. longistaminata*.

3) Evaluation de l'intérêt agronomique des cultivars traditionnels et des espèces sauvages.

Nous relaterons ici principalement l'étude du polymorphisme enzymatique qui est le plus avancé.

De 1975 à 1979, la révélation de quatorze systèmes enzymatiques a été mise au point au laboratoire de Génétique de l'ORSTOM à Abidjan (TROUSLOT et SECOND, 1980). Plus de 2130 lignées du genre *Oryza* représentant 660 populations ont été analysées pour 4 à 13 enzymes (SECOND et TROUSLOT, 1980).

Lorsque la base génétique du matériel étudié est élargie à l'ensemble du genre *Oryza*, les enzymes peu polymorphes permettent de caractériser les différents génomes du genre. Par exemple, on peut distinguer les lignées allotétraploïdes et diploïdes.

Au contraire, lorsque la base génétique du matériel étudié est réduite, des enzymes plus polymorphes (Estérases, Peroxydases, Phosphatases acides, Phosphoglucose isomérases etc...) distinguent les espèces partageant le même génome et leurs écotypes.

L'interprétation génétique du polymorphisme observé permet d'éviter la redondance d'information fournie par les zymogrammes. Les techniques de description multivariable peuvent être appliquées aux fréquences d'électromorphes* observées.

b. Exemple des Phosphoglucose isomérases

Présentons un exemple pour préciser la démarche suivie, celui des phospho-glucose isomérases (PGI): cette enzyme réalise la transformation suivante:

Glucose - 6 - phosphate → fructose - 6 - phosphate

C'est une enzyme du métabolisme intermédiaire qui a une structure quaternaire dimère.

Tous les zymogrammes observés (fig. 27) qui présentent 1 à 7 bandes mais généralement 3, sont expliqués par la dimérisation au hasard des produits de deux locus différents (ce que certains donnent comme exem-

* Après KING et OHTA (1975) on appelle « électromorphe » une classe d'allèles ayant un phénotype commun en électrophorèse.

ple d'hétérozygotie fixée par duplication) dans les espèces diploïdes*. Un individu diploïde hétérozygote pour les deux locus a donc 4 produits géniques qui se combinent 2 à 2: 10 dimères sont alors possibles mais tous ne sont pas distingués par électrophorèse et 9 bandes au maximum ont été observées. Le tableau 30 explicite les zymogrammes 4 et 7 et celui de l'hybride correspondant qui a été effectivement observé avec une plante F1. Les hétérozygotes sont rarement observés dans les populations d'espèces autogames (espèces cultivées, *O. breviligulata*...) mais ils sont fréquents chez l'espèce allogame *O. longistaminata*.

Tableau 30:

Interprétation des 3 zymogrammes de PGI par la dimérisation au hasard du produit de deux locus avec un ou deux allèles par locus.

Zymogramme génotype	Z. 4 $A_{22} B_{11}$	Z. 7 $A_{11} B_{44}$	Z. 4 × 7 $A_{12} B_{14}$
1	$B_1 B_1$ (1/4)		$B_1 B_1$ (1/16)
2			$B_1 B_4$ (2/16)
3	$A_2 B_1$ (1/2)	$B_4 B_4$ (1/4)	$A_2 B_1 + B_4 B_4$ (3/16)
4			$A_1 B_1 + A_2 B_4$ (4/16)
5	$A_2 A_2$ (1/4)	$A_1 B_4$ (1/2)	$A_2 A_2 = A_1 B_4$ (3/16)
6			$A_1 A_2$ (2/16)
7		$A_1 A_2$ (1/4)	$A_1 A_1$ (1/16)

Z: Zymogramme

(): proportion attendue des différents dimères.

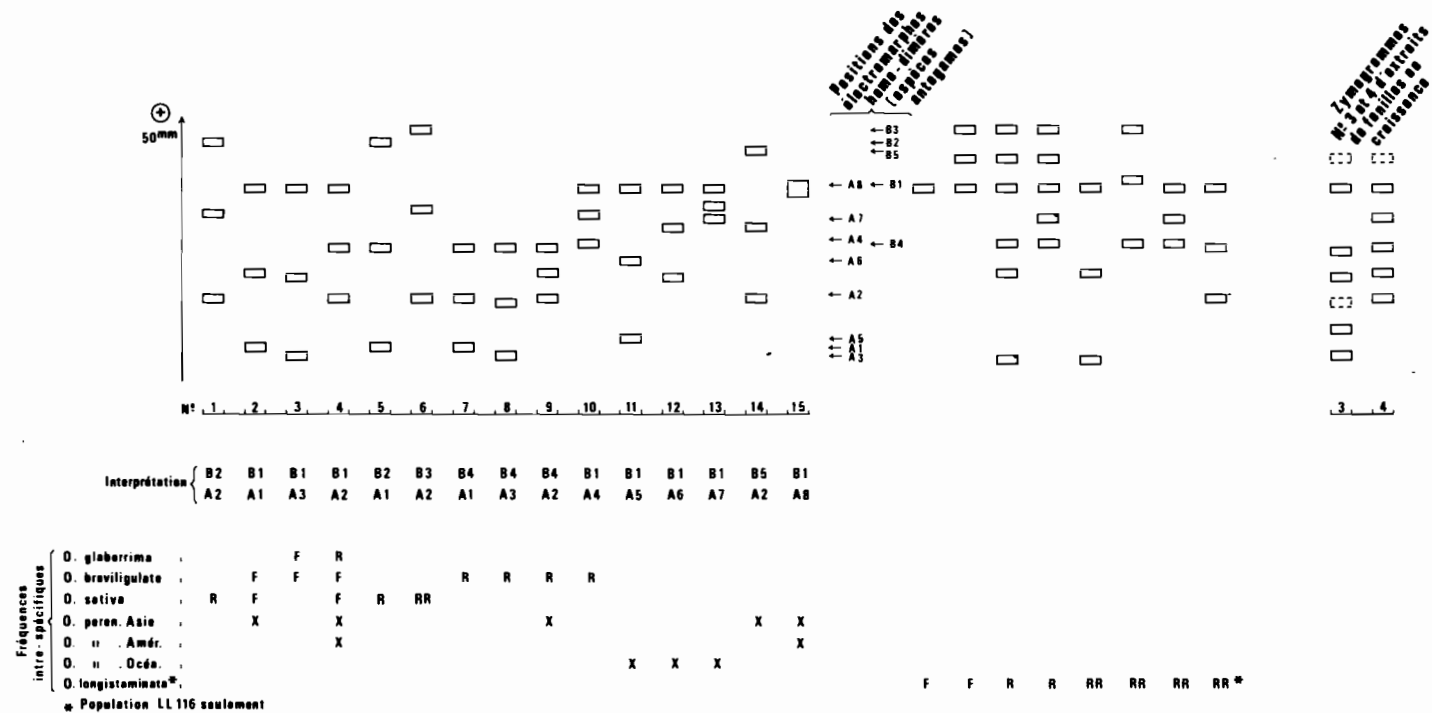
La coïncidence de deux bandes entre des zymogrammes différents ne signifie pas que les protéines représentées ont la même séquence primaire (codée par le même allèle, aux cas de dégénérescence du code génétique près) mais simplement qu'elles sont indistinguables avec la technique utilisée.

Sur la fig. 27, les génotypes homozygotes présumés sont représentés par une lettre pour le locus et un chiffre en indice pour l'électromorphe.

Les différences de mobilité des bandes correspondent soit à des variations très minimes qui ne sont décelables qu'entre zymogrammes placés sur la même plaque et de préférence côte à côte (bandes $A_1 A_1$, $A_3 A_3$ par exemple) soit à des modifications correspondant environ au tiers ou à la moitié de la distance qui sépare les bandes extrêmes observées dans une espèce donnée: on peut comparer, par exemple, les Zymogrammes 3, 4 et 10 dans *O. breviligulata* et 11, 12 et 13 dans *O. perennis* océanien (fig. 27). Ces différences importantes de vitesse de migration qui correspondent à des multiples d'environ 0,7 cm sur le gel représentent probablement des

* Dans les espèces téraploïdes, certains *O. punctata* en particulier, les produits de 4 locus s'associent.

Figure 27: Zymogrammes de phospho-glucose-isomérases chez les Riz (SECOND et TROUSLOT, 1980).



différences « unitaires » de charge. On remarque que les différences subtiles de vitesse de migration (de l'ordre du mm ou moins) distinguent mieux les espèces que les états de charge. Ces petites différences varient avec le pH de migration et la concentration en amidon du gel.

Des tests de thermosensibilité des isozymes peuvent être réalisés facilement avec les espèces autogames où les hétérozygotes sont rares. Un polymorphisme entre bandes homologues d'électrophorèse peut alors être mis en évidence par la température maximale supportée sans perte importante de l'activité enzymatique pendant un temps donné. On distingue alors des « électrothermomorphes » (ETM). Entre individus de la même espèce, l'ETM le plus commun est aussi le plus résistant à la température, mais dans plusieurs cas, des différences entre espèces apparaissent pour la température maximale de résistance. Par exemple, les bandes A₁ et A₂ sont stables à 59° C pendant 20 minutes chez *O. sativa* mais pas chez *O. breviligulata* et *O. glaberrima*. Ainsi, aucun ETM n'est commun entre *O. sativa* et *O. breviligulata*. Le locus B est moins polymorphe mais la bande B₁ est généralement stable à 59° C dans l'*O. perennis* océanien mais pas dans les autres espèces autogames.

Les différences de thermostabilité des isozymes distinguent également mieux les espèces considérées que les états de charge (SECOND et TROUSLOT, 1980b).

Le cas du zymogramme 6 d'*O. sativa* (fig. 27) est particulier. Il n'a été rencontré que dans une seule variété récoltée dans une rizière du Delta du Niger au Mali entourée des populations d'*O. longistaminata*. Il possède la bande B₃ qui est fréquemment présentée par les populations d'*O. longistaminata* de cette région. Cette variété a certainement introgressé des gènes d'*O. longistaminata*.

Pour résumer, la démarche suivie consiste à interpréter les zymogrammes observés par des hypothèses de déterminisme génétique qui définissent un certain nombre de locus pour chaque enzyme analysée. Un individu diploïde est alors caractérisé par les deux états alléliques (électromorphe ou, mieux, électrothermomorphe) qu'il présente à chaque locus étudié. Une population est caractérisée par les fréquences de ces états alléliques (cf. plus précisément Tome 2).

On peut alors analyser le groupe d'individus ou de populations retenu par les méthodes de la taxonomie numérique: chaque locus est considéré comme un caractère avec différents états, chaque « allèle » est considéré comme un caractère quantifié par sa fréquence d'apparition. On peut calculer des distances génétiques entre couples d'individus ou de populations (cf. Chapitre I, Tome II).

c. Comparaison du polymorphisme des espèces du groupe *sativa*

La comparaison du polymorphisme d'un échantillonnage de diverses populations, écotypes et espèces du groupe *Sativa* (plus de 2.000 Lignées analysées pour 6 enzymes et plus de 17 locus présumés [SECOND, en préparation]) apporte les résultats suivants:

— le degré de polymorphisme est variable.

Les espèces cultivées sont dans leur ensemble moins polymorphes que les espèces sauvages ancestrales. *O. sativa* est plus diversifié qu'*O. glaberrima*, tout au moins en ce qui concerne les écotypes tropicaux *indica* et

japonica car les variétés *japonica* des pays tempérés sont presque monomorphes.

— *O. breviligulata* présente de nombreux isozymes qui lui sont particuliers mais les fréquences de ceux-ci sont faibles par rapport à celles des isozymes partagés avec *O. glaberrima*. Sa variabilité est principalement distribuée entre les populations et le degré d'hétérozygotie des individus est faible.

— *O. longistaminata* a une variabilité intra et interpopulation beaucoup plus importante. Certains isozymes distinguent nettement cette espèce. Aucune population intermédiaire avec *O. breviligulata* n'a été observée.

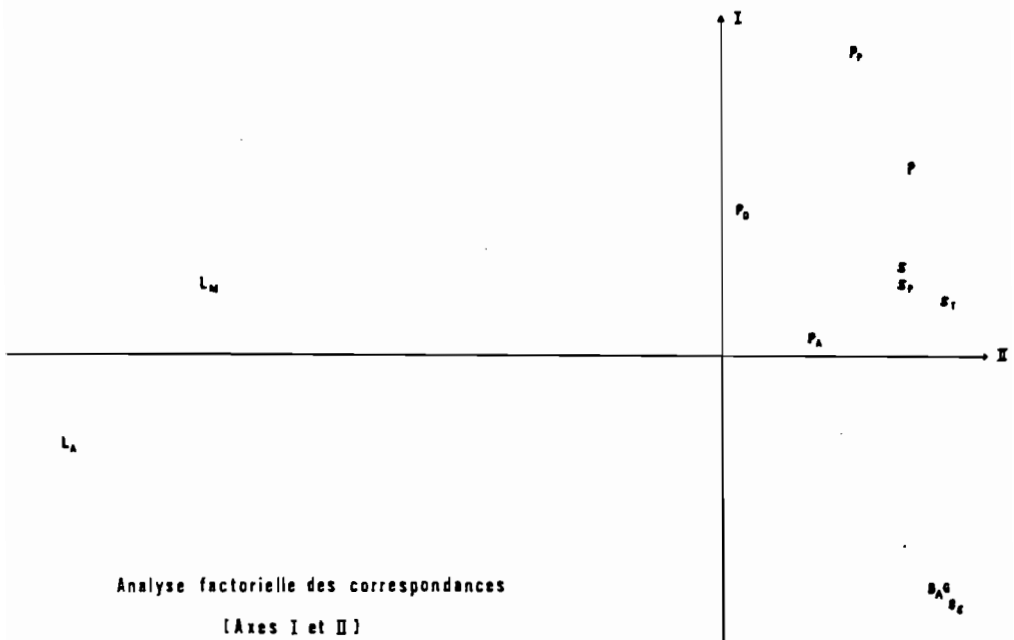
— Le rameau américain se confond avec le rameau asiatique mais ce dernier est plus variable et présente une structure géographique et écologique. Au contraire, le rameau océanien se distingue de tous les autres clairement.

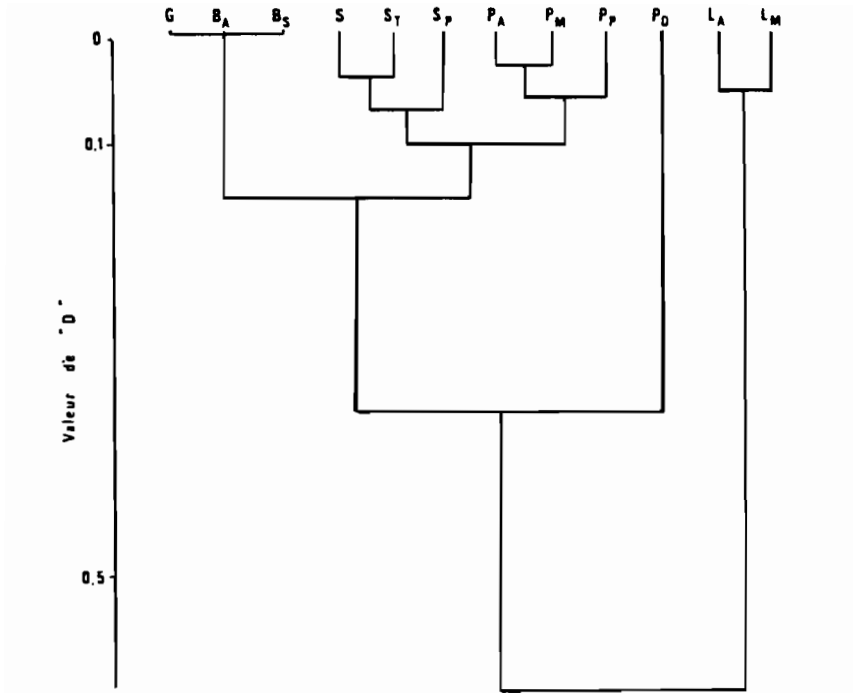
Parmi les isozymes (ou bandes d'électrophorèse) les plus fréquemment observés, la plupart sont communs aux différentes espèces mais certains sont spécifiques. Ces derniers permettent de déceler les introgressions entre espèces, entre *O. glaberrima* et *O. sativa* et aussi entre les espèces sauvages et cultivées mais jamais entre *O. breviligulata* et *O. longistaminata* pourtant souvent rencontrées en mélange ou à proximité l'une de l'autre.

Les résultats de l'analyse, des différentes espèces et écotypes du groupe *sativa* sont présentés dans la figure 28 selon deux méthodes :

— L'analyse factorielle des correspondances portant sur la fréquence des états alléliques (électromorphes).

— le dendrogramme construit sur la distance D de NEI (voir chapitre I, tome 2).





Dendrogramme construit avec la distance "D" de NEI

Figure 28: Graphiques de l'analyse portant sur 6 enzymes et 17 locus présumés des différentes espèces et écotypes du groupe *sativa*.

O. longistaminata

L_A origine malgache

L_M populations originaires
du delta du Niger MALI

O. perennis

P_A forme annuelle d'origine asiatique

P_M origine américaine

P_P forme perenne d'origine asiatique

P_O origine océanienne

O. sativa

S *sativa* (95 var. d'une
collection mondiale)

S_T 20 var. d'une collection
du climat tempéré

S_P 20 lignées intermédiaires
sauvages et cultivées en
provenance de « Jeypore-Tract »
en Inde

O. breviligulata

B_A adventice

B_S sauvage

O. glaberrima

G. *glaberrima*



Riz sauvage : *O. breviligulata*



Riziculture de type flottant dans le Delta central du Niger (MALI)

On peut noter une similitude surprenante des espèces annuelles africaines entre elles, d'*O. sativa* avec les formes asiatiques et américaines d'*O. perennis*, enfin des *O. longistaminata* maliennes et malgaches entre elles. La forme océanienne de *O. perennis* se rapproche des formes asiatiques. Les formes africaines annuelles sont peut éloignées des formes asiatiques.

d. Estimation et comparaison de la variabilité totale d'*O. sativa*, *O. glaberrima* et *O. breviligulata*. Origine d'*O. stapfii*.

La comparaison précédente confirmant certaines données bibliographiques sur la proximité génétique d'*O. sativa*, *O. glaberrima* et *O. breviligulata* il est nécessaire de préciser leur variabilité totale respective afin d'en proposer la phylogénèse. Sur un échantillonnage réduit (60 lignées au total) mais probablement assez représentatif de la variabilité totale des espèces, nous avons étudié le polymorphisme enzymatique de 13 enzymes et testé la thermosensibilité de la plupart des isozymes révélés (SECOND, 1981).

— Données de l'électrophorèse :

Chaque lignée (homozygote) est caractérisée par 40 électromorphes codés par 40 locus présumés ; 32 locus sont polymorphes avec 66 électromorphes possibles au total. Ils ont été considérés comme autant de caractères présentant différents états (selon l'électromorphe) et l'on a étudié les similitudes entre lignées par analyse factorielle des correspondances.

La figure 29 présente la distribution des lignées obtenue dans le plan des axes 1 et 2.

Trois groupes sont nettement séparés et caractérisés par des associations d'électromorphes particuliers :

— *O. breviligulata* dont la distribution inclut celle d'*O. glaberrima*

— 2 groupes d'*O. sativa* : les types *indica* et *japonica* avec de nombreux intermédiaires — Les types *javanica* se classent soit avec les *japonica* soit dans les intermédiaires.

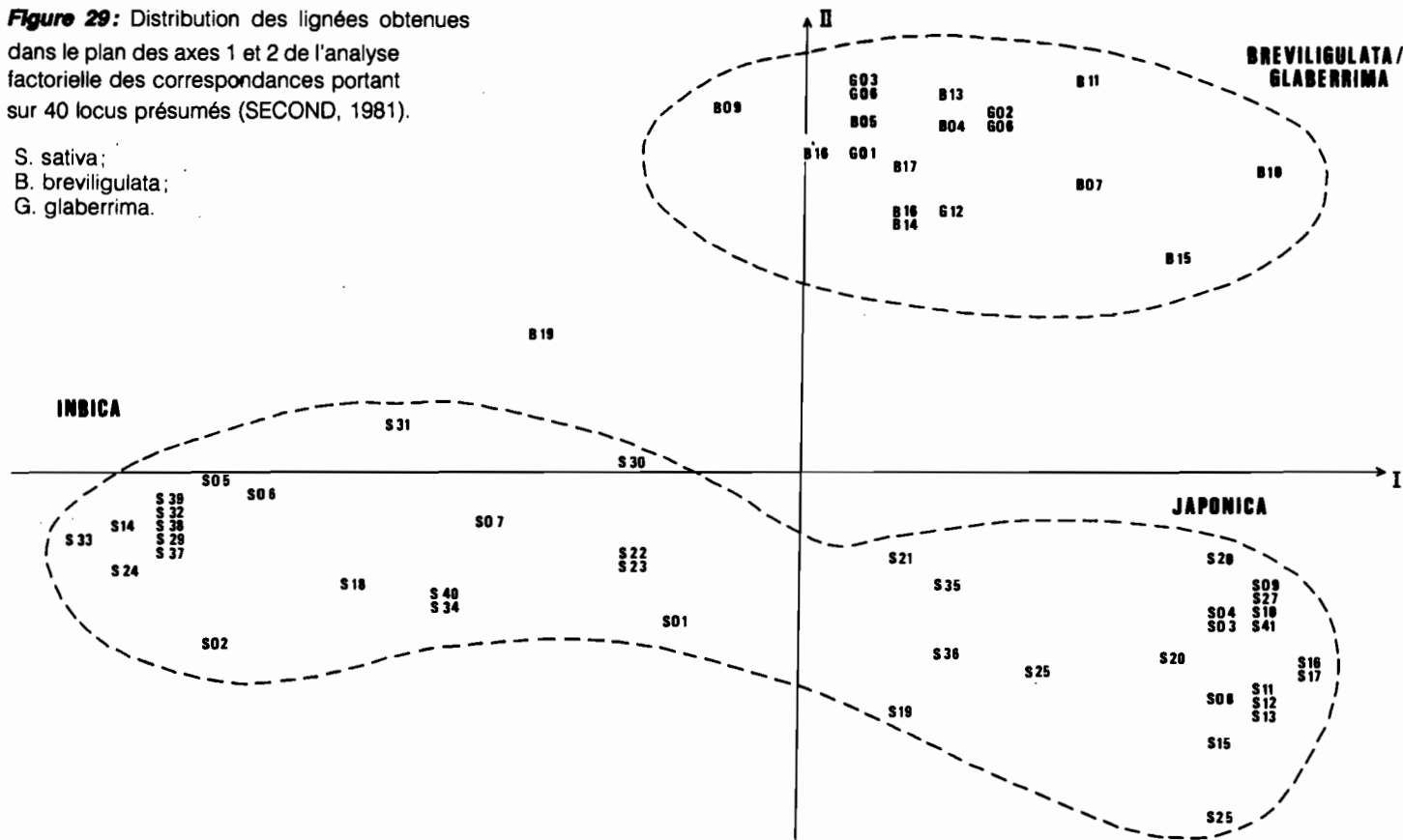
Une seule lignée ne rentre pas dans les groupes définis : c'est la lignée B 19 qui présente les électromorphes d'*O. glaberrima* à l'exception d'un électromorphe (Est C₁) caractéristique du type *indica* d'*O. sativa*. La lignée B 19 appartient à l'espèce *O. stapfii* généralement classée dans *O. breviligulata*. Conformément à des observations complémentaires (au cours des prospections ou par taxonomie numérique) nous pensons que les types adventices *O. stapfii* apparaissent par introgression de gènes d'*O. sativa* dans des variétés d'*O. glaberrima*. A l'exception de la lignée B 19, cette introgression passe inaperçue à l'étude du polymorphisme enzymatique. Cette origine justifie l'appellation *O. stapfii* distincte d'*O. breviligulata*.

— Données de l'étude de thermosensibilité :

Une hétérogénéité entre lignées présentant le même électromorphe (même bande d'électrophorèse) a été mise en évidence au niveau de 7 locus seulement. Dans tous les cas, et dans une espèce donnée, l'isozyme le plus fréquemment rencontré est le plus résistant à la température. Dans les espèces *O. glaberrima*, *O. Stapfii* et *O. sativa*, des formes sensibles de la même bande n'ont jamais — ou rarement — été observées. Elles sont par contre plus fréquentes chez *O. breviligulata* qui montre à nouveau un polymorphisme original par rapport aux espèces cultivées.

Figure 29: Distribution des lignées obtenues dans le plan des axes 1 et 2 de l'analyse factorielle des correspondances portant sur 40 locus présumés (SECOND, 1981).

S. sativa;
B. breviligulata;
G. glaberrima.



e. Distribution géographique de la variabilité d'*O. breviligulata* et origine distincte possible des écotypes dressés et flottants d'*O. glaberrima*.

Dans l'espèce *O. glaberrima* un polymorphisme particulier permet de distinguer les écotypes flottants ou dressés: il s'agit de la présence ou de l'absence des bandes H et I d'estérases. Trois zymogrammes sont distingués (voir fig. 30): «A» avec les deux bandes, «B» avec la bande I et «C» avec la bande H seulement. Les variétés flottantes et tardives du delta Central du Niger présentent les zymogrammes A ou C alors que les variétés dressées et précoces (Sénégal, Mali, Haute Volta...) présentent les zymogrammes A ou B. Dans certaines régions (Nigéria, Togo, Zanzibar) seul le zymogramme A a été rencontré.

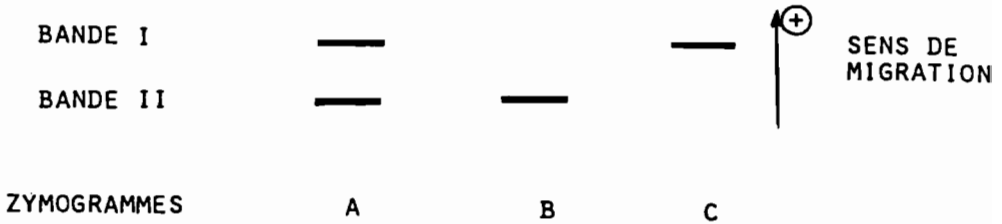


Figure 30: Zymogrammes des estérases chez *O. glaberrima*

La proportion des zymogrammes A, B et C parmi les populations adventices (*O. stapfii* et *O. breviligulata*) est remarquablement corrélée à celle des populations d'*O. glaberrima* des mêmes régions.

Par contre, dans les *O. breviligulata* sauvages, il existe un clivage géographique pour l'absence des bandes H ou I qui est articulé sur la région du lac Tchad: en Afrique de l'ouest, toutes les populations présentent les zymogrammes A ou B alors qu'en Afrique Centrale ou de l'Est, on ne rencontre que les zymogrammes A ou C.

Il semble donc que les variétés flottantes d'*O. glaberrima* et les *O. breviligulata* adventices du delta du Niger au Mali (ainsi que celles du Sénégal) n'ont pas de relation évolutive directe avec les populations sauvages d'*O. breviligulata* avoisinantes mais plutôt avec celles de l'est de la région sahélienne. Elles auraient migré à leur emplacement actuel.

Par contre, les variétés dressées d'*O. glaberrima* semblent directement apparentées aux populations d'Afrique de l'ouest de *O. breviligulata*. Si l'on ne peut pas conclure sur cette base à 2 domestications indépendantes des types dressés et flottants *O. glaberrima* il paraît néanmoins que des populations sauvages d'*O. breviligulata* de zones géographiques très diverses ont participé à la domestication.

f. Discussion des résultats d'analyse du polymorphisme enzymatique.

L'interprétation du polymorphisme enzymatique suppose connues les forces qui le maintiennent.

Deux théories s'opposent sans être exclusives:

— Selon la théorie neutraliste, le polymorphisme enzymatique est adaptativement neutre. Son importance relative dépend principalement de l'histoire et de l'effectif des populations ainsi que de leur système de reproduc-

tion et de leur isolement. Dans ce cas, le polymorphisme enzymatique serait un très bon marqueur de l'histoire évolutive.

— Selon la théorie adaptative, le polymorphisme enzymatique représente une coadaptation des isozymes aux conditions de l'environnement: c'est un marqueur des adaptations au milieu et non de l'histoire évolutive.

Dans le cas des riz, la convergence entre *O. breviligulata* et les formes annuelles d'*O. perennis* pourrait dans le cadre de la théorie adaptative être l'expression de l'occupation de niches écologiques similaires: mares naturelles perturbées par les animaux. On pourrait alors admettre l'évolution d'*O. breviligulata* à partir d'*O. longistaminata* selon le schéma de CHANG (figure 26) avec évolution indépendante en Afrique et en Asie depuis la séparation des continents. Une telle convergence au niveau moléculaire, après un temps d'évolution indépendante aussi long, semble étonnante et aucun signe objectif de cette filiation n'a été mis en évidence à ce jour. En particulier, aucune population intermédiaire entre les deux espèces n'a été rencontrée et les deux espèces s'hybrident très difficilement.

Si au contraire on utilise la théorie neutraliste, le dendrogramme de la figure 27 pourrait retracer l'histoire évolutive des espèces du groupe *sativa*: la séparation d'*O. breviligulata* et d'*O. perennis* serait récente par rapport à celle d'*O. longistaminata* d'une part et d'*O. perennis* océanien d'autre part. L'histoire évolutive de ce complexe spécifique résulterait davantage d'événements exceptionnels de dispersion plutôt que d'une évolution indépendante sur les différents continents.

O. perennis asiatique serait alors le plus proche parent de tous les riz cultivés. La divergence des types *indica* et *japonica* suggèrerait leur domestication indépendante (en Inde et en Chine?).

Dans chaque cas, la domestication s'est accompagnée d'une réduction drastique du polymorphisme enzymatique et donc probablement de la variabilité génétique en général.

B. ÉTUDE DES BARRIÈRES REPRODUCTIVES

Les travaux les plus avancés dans l'étude des barrières reproductives entre les espèces de riz partageant le génome AA ont été effectués au Japon. OKA (1978) en donne une revue complète à laquelle nous renvoyons le lecteur. UNE étude extensive des croisements entre les riz cultivés et les différentes espèces ou races géographiques qui leur sont apparentées a été réalisée (2.728 croisements au total dans la seule étude de CHU, MORISHIMA et OKA, 1969). Aucune plante F1 n'a montré de distorsion notable dans les appariements chromosomiques mais les barrières reproductives géniques ou cytoplasmiques suivantes ont été observées.

1. Détérioration du zygote:

Une faible production des croisements due à une détérioration du jeune zygote est souvent rencontrée dans les croisements entre *O. longistaminata* et les autres espèces du groupe *sativa*. Deux gènes dominants complé-

mentaires D_1 et D_2 interrompent la différenciation cellulaire à un stade précoce du développement des zygotes F1. Ils interviennent d'abord au niveau du développement de l'albumen. L'avortement a lieu à un stade plus précoce quand *O. longistaminata* est utilisé comme parent femelle que dans le croisement réciproque: l'albumen étant de constitution triploïde, la combinaison $D_1d_1d_1D_2D_2d_2$ aurait un effet plus prononcé que $D_1D_1d_1D_2d_2d_2$. Dans le premier cas, il n'y a pas formation de zygote visible à l'œil nu. Dans le second cas, il y a formation d'une graine anormale. La pénétrance de l'effet génique est incomplète: des plantes F1 viables sont obtenues dans environ 5% des cas dans les deux croisements réciproques. Les populations d'*O. longistaminata* sont hétérozygotes pour le gène D_1 .

2. Faiblesse des F₁ :

a) — rarement rencontrée entre les variétés d'*O. sativa*, la chlorose fut observée environ un mois après la germination. Un couple de gènes complémentaires dominants semi-létaux, L_1 et L_2 fut détecté.

b) — Entre *O. glaberrima* et *O. breviligulata*, la faiblesse F1 est assez fréquemment observée. Elle est également contrôlée par un couple de gènes dominants semi-létaux, W_1 et W_2 qui perturbent la différenciation cellulaire dans les méristèmes racinaires. *O. stapfii* possède les mêmes gènes de faiblesse qu'*O. glaberrima* (BEZANCON, non publié). La faiblesse des F1 est plus rarement rencontrée dans les croisements entre *O. sativa* et *O. perennis*. Elle est par contre fréquente parmi les F1 issues d'*O. longistaminata*.

3. Faiblesse des F₂ ou leur dégénérescence :

Une chlorose des F2, contrôlée par des gènes récessifs complémentaires l_1 et l_2 a été trouvée dans *O. sativa*.

4. Stérilité des F₁ :

Elle est génique ou cytoplasmique puisque les chromosomes s'apparient normalement.

a. **Stérilité génique**: la fertilité résulte de l'action de nombreux gènes et les gènes individuels sont difficiles à identifier parmi les produits de la ségrégation. Le système des lignées isogéniques a été utilisé pour l'analyse génétique: après chaque back-cross ou autofécondation, on sélectionne les plantes présentant un certain type de stérilité en croisement. Les cas observés représentent:

— une stérilité **gamétophytique** due à des gènes **gamétiques létaux** dupliqués. 2 locus avec chacun des allèles + et s. Elle a été mise en évidence entre des variétés éloignées d'*O. sativa* selon le modèle suivant:
 $+_1 +_1 S_2 S_2 \times S_1 S_1 +_1 +_2 \longrightarrow +_1 S_1 +_2 S_2$.

Les gamètes avec $S_1 S_2$ ne sont pas viables. Une sélection gamétique (phénomène de « certation ») résulte de la capacité différentielle de fertilité

tion des grains de pollen avec $+_1 S_2$, $S_1 +_2$ et $+_1 +_2$. Des gènes contrôlant la certation ont également été mis en évidence. Il y a plusieurs couples de gènes en cause dans la stérilité entre variétés éloignées d'*O. sativa*.

— Une interaction sporo-gamétophytique mise en évidence dans les croisements entre *O. sativa* et *O. glaberrima*. Le modèle est à un locus: les gamètes avec l'allèle S^a ne se développent pas quand S est présent dans les tissus sporophytiques. Les parents *sativa* et *glaberrima* sont respectivement $S_1^a S_1^a S_2 S_2$ et $S_1 S_1 S_2^a S_2^a$. Des lignées isogéniques ont été produites à partir de plantes $B_8 F_2$ avec le génome de base *sativa* et *glaberrima*. Elles sont autofertiles, mais en croisement avec la lignée parentale, les plantes F_1 sont semi-stériles et les F_2 fertiles: les plantes F_1 ayant S/S^a produisent uniquement les allèles S . Les allèles S^a ne se développent pas.

Ce déterminisme de stérilité semble se rencontrer également dans les croisements entre certaines variétés d'*O. sativa*. La présence d'autres systèmes géniques (ou de petits réarrangements chromosomiques) est de plus suggérée par la sélection de lignées partiellement stériles qui semblent homozygotes pour des gènes de stérilité, et par l'observation de stérilité dans la descendance de croisements entre lignées isogéniques. La stérilité génique des F_1 est probablement contrôlée par un complexe de gènes. La sélection de lignées isogéniques n'a pour l'instant permis de sélectionner que certains d'entre eux.

b. Stérilité cytoplasmique: Elle a été mise en évidence entre des variétés d'*O. sativa* avec des gènes de restauration gamétophytique. Les gènes de restauration sont généralement présents dans les variétés de riz et l'incidence de la stérilité mâle est faible. Une stérilité mâle avec des gènes de restauration sporophytique a été mise en évidence dans les lignées de substitution cytoplasmique *O. sativa* et *O. glaberrima*. Sans que son déterminisme génétique puisse être généralement précisé, la stérilité des hybrides F_1 est fréquemment rencontrée dans les croisements:

— entre variétés éloignées d'*O. sativa* et dans ses croisements avec *O. perennis* asiatique,

— entre lignées d'*O. perennis*.

Elle est toujours accusée dans les croisements:

— entre groupes géographiques d'*O. perennis*,

— entre *O. longistaminata* et *O. breviligulata*,

— entre les espèces cultivées et les différents groupes d'*O. perennis*.

Elle est très rare dans les croisements entre *O. glaberrima* *O. breviligulata*.

Elle est généralement plus prononcée au niveau des gamètes mâles que des gamètes femelles et les back cross semblent toujours possibles, bien que parfois avec un taux faible de réussite.

5. Stérilité des F_2 et des lignées hybrides homozygotes qui en sont issues :

Une stérilité sporophytique au niveau des F_2 a été étudiée entre des variétés d'*O. sativa* selon le modèle: $A_1 A_1 a_2 a_2 \times a_1 a_1 A_2 A_2$. Des lignées apparemment normales, mais partiellement stériles avec

$a_1 a_1 a_2 a_2$ sont obtenues par autofécondation des F_1 . Les plantes avec $A_1 a_1 a_2 a_2$ ou $a_1 a_1 A_2 a_2$ sont également partiellement stériles.

Elles montrent une instabilité de développement pollinique avec de grosses différences de fertilité entre les épillets de la même panicule.

6. Les hybridations naturelles et les introgressions :

Les seules barrières reproductives observées dans le groupe d'espèces *sativa* sont donc géniques ou dues à des petits réarrangements chromosomiques ou cytoplasmiques. Elles interviennent généralement au niveau de la génération F_1 mais parfois au niveau de la F_2 ou des back cross. Elles consistent soit en une dégénérescence du produit de la fécondation (zygote ou plante), soit en une stérilité gamétique plus prononcée au niveau pollinique. Elles semblent généralement contrôlées par des gènes dupliqués ou complémentaires. Plusieurs barrières reproductives peuvent successivement apparaître dans le même croisement. En particulier dans les croisements avec *O. longistaminata* : lorsque les graines sont obtenues avec un bon pouvoir de germination (moins de 5% des fécondations) les plantes obtenues sont parfois faibles (jusqu'à 50% des cas dans le croisement avec *O. breviligulata*); les plantes qui fleurissent montrent alors un taux souvent élevé de stérilité des sacs embryonnaires (17 à 72%) et du pollen (1 à 100%). Il est néanmoins possible d'obtenir des produits hybrides par back cross ou autofécondation, car aucune des barrières n'est complète dans sa capacité d'isolement.

Des cas d'introgression et de formation d'essaims d'hybrides ont été observés (CHU et OKA, 1970; observations de l'équipe ORSTOM rapportées précédemment). Nous avons vu que des introgressions entre les espèces cultivées expliquent l'apparition de *O. stapfii*.

Par électrophorèse, on a mis en évidence l'existence de gènes d'*O. sativa* dans une population d'*O. longistaminata* et inversement d'un gène d'*O. longistaminata* dans une variété d'*O. sativa*. Des échanges géniques existent dans la nature lorsque les espèces peuvent se croiser. Le problème est actuellement d'apprécier la dynamique de ces échanges et d'étudier le rôle qu'ils peuvent avoir dans la variabilité et l'adaptabilité des formes cultivées.

On remarque que les barrières reproductives sont particulièrement développées autour d'*O. longistaminata* qui est allogame et souvent associées à *O. breviligulata* et aux espèces cultivées en Afrique. Selon OKA (1974): « Il y a probablement un ajustement entre l'isolement et l'hybridation (entre espèces) car trop d'hybridations résulterait en une perte reproductive et trop d'isolement réduirait l'exploitation de la variabilité. »

La figure 31 illustre cette proposition par la situation rencontrée en Afrique. On remarque que le niveau des barrières semble ajusté aux possibilités d'hybridation.

C. CONCLUSION

Les espèces ancestrales des riz cultivés et celles qui leur sont directement apparentées commencent à être bien connues. Les plus importantes

zones rizicoles du monde se situent dans leur aire de répartition. Trois constatations s'imposent :

1. Les conditions nécessaires aux échanges génétiques spontanés entre les espèces sauvages et les variétés cultivées sont encore réalisées dans de nombreuses régions. Les barrières reproductives décelées dans le groupe des riz sauvages et cultivés sont toutes partielles. Elles permettent en particulier des rétrocroisements et donc des introgressions de gène d'une espèce à une autre. Les échanges génétiques entre espèces sauvages et cultivées sont suggérés par l'observation d'essaims d'hybrides. Ils sont prouvés par les analyses d'électrophorèse. Il reste à en apprécier la dynamique et l'importance pratique que l'on peut présumer capitale pour l'adaptation des variétés cultivées à leur environnement.

2. Il est encore possible d'effectuer la domestication de nouvelles populations ou de tenter de nouvelles formes de domestication des riz sauvages. Il semble bien qu'il y ait eu au moins trois domestications indépendantes ayant abouti aux trois types principaux de riz cultivés asiatiques et africains distingués à l'heure actuelle. Dans chaque cas il y a eu une réduction très importante de la variabilité qui peut s'expliquer par une forte réduction de l'effectif au moment de la domestication. Le système de reproduction retenu a toujours été l'autogamie avec création de populations variées (variabilité inter et intrapopulation). Les introgressions de gènes des espèces sauvages permettent une diversification des variétés cultivées. La diversité est beaucoup plus importante chez les types tropicaux que chez les types tempérés qui ont perdu le contact avec les espèces sauvages. Il est néanmoins évident que la variabilité des espèces sauvages est restée beaucoup plus importante. Certaines résistances à des maladies par exemple ne se rencontrent que dans des espèces sauvages (résistance à un virus, par exemple (CHANG et al., 1977)).

Un processus possible d'amélioration est donc de suivre le schéma des introgressions naturelles : hybridations suivies de rétrocroisements sur les variétés cultivées. Il s'agit de poursuivre le processus traditionnel en l'orientant en fonction des objectifs de sélection et des résultats de l'évaluation des ressources génétiques mais sans modifier fondamentalement le type de plante retenu.

Une voie plus audacieuse d'utilisation de la variabilité des riz sauvages peut consister dans la recherche de types nouveaux de plantes, par exemple par transfert de l'autoincompatibilité (création de variétés allogames) ou de la multiplication végétative par rhizomes (création de variétés pérennes) et la création d'allopolyploïdes associant plusieurs génomes.

3. L'accélération actuelle de la modification des paysages naturels ou traditionnels entraîne une disparition rapide des espèces sauvages du riz compromettant la réalisation des points 1 et 2 pour l'avenir. La disparition des riz sauvages, particulièrement du groupe *sativa*, accompagne les grands travaux de mise en valeur de zones agricoles : conquête de nouvelles terres et surtout contrôle de l'eau, barrages, irrigations, drainage.

En Asie, les riz sauvages ont d'ores et déjà disparu de leur milieu naturel dans de nombreuses régions et ne se rencontrent plus que dans des rizières ou en bordures. Ils ont même parfois totalement disparu. Dans ces conditions, on peut craindre que leur variabilité ne s'érode rapidement du fait de la diminution d'effectif des populations et de leur hybridation avec les variétés cultivées.

Sur les autres continents, le même processus est amorcé. Il n'est pas raisonnable de penser que de simples collections, même doublées par la conservation à long terme, soient suffisantes pour conserver ce qui reste de ce patrimoine génétique. Il est urgent de proposer d'autres solutions qui soient à la mesure du problème.

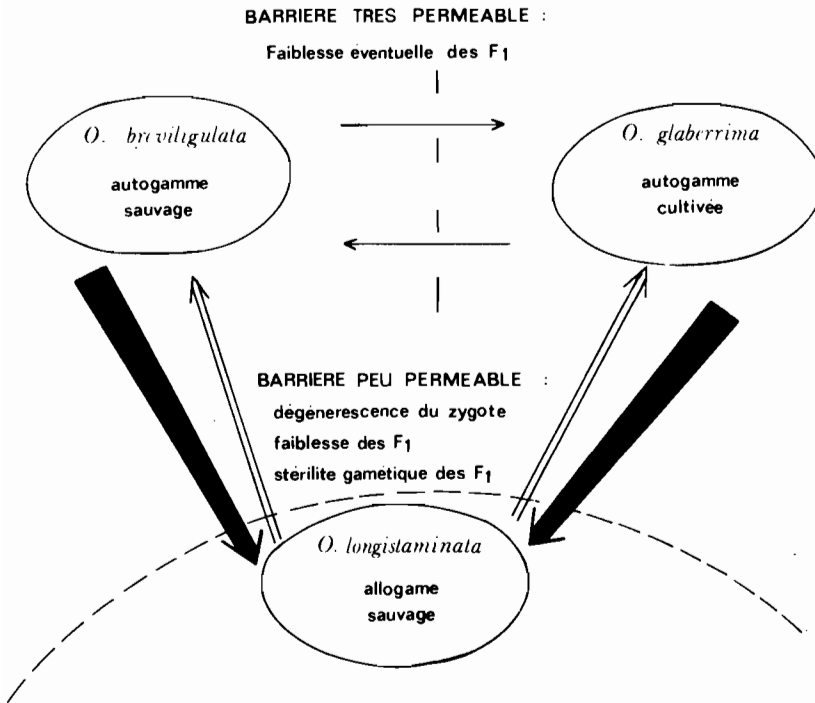


Figure 31 : Isolation reproductive des espèces africaines de riz : les traits pointillés représentent les barrières. La largeur et la direction des flèches représentent les vents polliniques « effectifs » : quantité de pollen produite × probabilité de fécondation (cas où les espèces sont associées dans le même habitat).

ANNEXE

TYPE *INDICA* ET *JAPONICA* D'*O. SATIVA*

la classification des variétés d'*O. sativa* en deux types principaux est très ancienne. Selon les chercheurs japonais (voir en particulier OKA et CHANG, 1962) la différenciation *indica-japonica* est le plus clairement mise en évidence par des associations de caractères. Il s'agit de la résistance des plantules au chlorate de potassium et aux basses températures, de la longueur des poils apiculaires, du rapport longueur/largeur des épillets, et de la coloration des enveloppes de la graine au phénol. Ces caractères mesurés ou indexés sont combinés dans une formule discriminante qui maximise la différenciation des deux types. Le tableau 32 indique les caractéristiques relatives des deux types pour ces cinq caractères.

Selon cette classification, le type *javanica* peut être considéré comme un type tropical de *japonica*.

Il a été observé que, en Thaïlande du nord et dans le sud-ouest de la Chine, les variétés de riz cultivées dans les zones montagneuses sont généralement du type *japonica* alors que celles des vallées basses sont du type *indica*. En Chine, les variétés cultivées dans les provinces du sud sont généralement du type *indica* alors que les variétés *japonica* sont plus fréquentes dans les provinces du nord. Ces dernières sont également fréquentes dans les îles du Pacifique du Japon jusqu'en Indonésie et on distingue des écotypes tempérés et continentaux de *japonica*.

Des chercheurs chinois ont depuis longtemps estimé que les types *indica* et *japonica* ont leur origine en Inde et Chine respectivement (CHOU, 1948).

Pour les auteurs précédemment cités cependant, la différenciation *indica-japonica* se développe au cours de la domestication des formes cultivées mais le processus a pu se répéter en différentes régions et est encore en action.

TABLEAU 31

Caractéristiques différentielles fondamentales entre les types *indica* et *japonica* d'*O. sativa*.

CARACTERES	TYPES	
	<i>indica</i>	<i>japonica</i>
Résistance au chlorate de potassium	-	+
Résistance aux basses températures	-	+
Rapport Longueur/largeur des épillets	+	-
Longueur des poils apiculaires	-	+
Réaction de coloration au phénol	+	-

RÉFÉRENCES RIZ

- BARDENAS E.A. and CHANG T.T., 1966. Morpho-taxonomic studies on *Oryza glaberrima* Steud and its related wild taxa, *O. breviligulata* A. Chev. et Roehr. and *O. stapfii* Roschev. Bot. Mag. Tokyo 79: 791-798.
- BEZANCON G., BOZZA J., KOFFI G., SECOND G., 1977. Genetic diversity of *O. glaberrima* and *O. breviligulata* shown from direct observation and isozyme electrophoresis. Réunion sur les espèces africaines de Riz, IRAT-ORSTOM Paris: 15-46.
- BEZANCON G., BOZZA J.L. and SECOND G., 1977. Variability of *Oryza longistaminata* and the *sativa* complex of *oryza* in Africa. Ecological and evolutive aspects. Réunion sur les espèces africaines de Riz, IRAT-ORSTOM Paris: 47-55.
- BOEKEN B.C., 1971. Etude agro-botanique des riz sauvages au Sénégal. Programme des Nations Unies pour le développement F.A.O. Rome 1971.
- CARPENTER A.J., 1978. The history of rice in Africa. Ine Rice in Africa, Ed. Buddenhagen I.W., and Persley G.J: 3-10.
- CHANG T.T., 1970. Rice. In Genetic Resources in Plants, Ed. O.H. Krankel and E. Bennet, n° 11: 267-272.
- CHANG T.T., MARCIANO A.P. and LORESTO G.C., 1977. Morpho-agronomic variousness and economic potentials of *Oryza glaberrima* and wild species in the genus *Oryza*. Réunion sur les espèces africaines de riz, IRAT-ORSTOM Paris: 67-76.
- CHEVALIER A., 1910. Le riz sauvage de l'Afrique tropicale. Bull. Mus. Hist. Nat. Paris, 16 (7): 404-408.
- CHEVALIER A., 1932. Nouvelle contribution à l'étude systématique des *Oryza*. R.B.A. XII: 754-756 et 1014-1032.
- CHEVALIER A., 1932. les productions végétales du Sahara et de ses confins Nord et Sud. Passé, présent et avenir. R.B.A. XII: 669-924.
- CHEVALIER A., 1937. Sur des riz africains du groupe *Oryza glaberrima* R.B.A.: 413-418.
- CHOU S.L., 1948. The origin of rice in China. Jour. Rice Soc., Nanking, Chine 7 (5): 53-54 (cité dans OKA and CHANG, 1962).
- CHU Y.E., MORISHIMA H. and OKA H.I., 1969. Reproductive barriers distributed in cultivated rice species and their wild related rice. Jap. J. Genet. 44 (4): 207-233.
- CHU Y.E. and OKA H.I. 1970. Introgression accross isolating barriers in wild and cultivated *Oryza* species. Evolution 24 (2): 344-355.
- CHU Y.E. and OKA H.I., 1971. The distribution and effects of genes causing F1 weakness in *Oryza breviligulata* and *O. glaberrima*. Genetics 70: 163-173.
- CLAYTON W.D., 1968. In flora of west Africa. Ed. J. Hutchinson Vol. III, part. 2.
- HENRY Y., 1911. Notes sur le riz sauvage vivace. L'agriculture pratique des pays chauds. Bull. Jardin Coll. Nogent-sur-Marne XI, II: 433-458.
- KIHARA H., 1963. Classification of species and genome symbole in *Oryza*. Jap. J. Breeding 13: 45-46.
- KING J.L., OHTA T., 1975. Polyallelic mutational equilibria. Genetics 79: 681-691.

- MORISHIMA H., HINATA K. and OKA H.I., 1963. Comparison of modes of evolution cultivated from two wild rice species, *O. breviligulata* and *O. perennis*. *Evolution* 17: 170-181.
- MORISHIMA J., 1969. Phenetic similarity and phylogenetic relationships among strains of *Oryza perennis*, estimated by methods of numerical taxonomy. *Evolution* 23 (3): 429-443.
- OKA H.I., 1974. Experimental studies on the origin of cultivated rice. *Genetics* 78: 475-486.
- OKA H.I., 1978. An observation of wild rice species in tropical Australia. Report of trip.
- OKA H.I. and CHANG W.T., 1962. Rice varieties intermediate between wild and cultivated forms and the origins of the *Japonica* type. *Bot. Bull. Acad. Sinici* 3: 109-131.
- OKA H.I. and CHANG W.T., 1963. Observation of wild and cultivated rice species in Africa. Report of trip from Sierra Leone to Tchad.
- OKA H.I. and MORISHIMA H., 1967. Variations in the breeding system of a wild rice, *Oryza perennis*. *Evolution* 21 (2): 249-258.
- PELISSIER P., 1966. Les paysans du Sénégal: les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. CNRS imp. Fabregue.
- PORTERES R., 1950. Vieilles agricultures de l'Afrique intertropicale. *Agr. Trop.* V (9-10): 489-507.
- PORTERES R., 1956. Taxonomie agro-botanique des riz cultivés *O. sativa* Linn. et *O. glaberrima* Steud. *JATBA* 3: 341-856.
- RICHARIA R.H., 1960. Origins of cultivated Rices. *Ind. J. Genet- and Plant Breed.* 20 (1): 1-14.
- SAMPATH, 1973. Origin of cultivated rices. *Ind. J. of Genet. and Plant Breed.* 33 (2): 157-161.
- SECOND G. (1981). Origin of the genic diversity of cultivated rice (*Oryza* spp.). Study of the polymorphism of 40 isozyme loci. A paraître dans *Japan J. Gen.*
- SECOND G. et TROUSLOT T., 1980a. Polymorphisme de treize zymogrammes observés parmi diverses espèces sauvages et cultivées du genre *Oryza*. *Travaux et Documents ORSTOM* n° 120.
- SECOND G. et TROUSLOT P., 1980b. Phospho-glucose isomerase electrophoretic and thermostability isozyme variation in wild and cultivated rice species. A paraître dans *Isozyme Bulletin*, 1980.
- STEBBINS G.L., 1958. The inviability, weakness and sterility of interspecific hybrids. *Adv. in genet.* 9: 147-215.
- TATEOKA T., 1962. *Bot. Mag. Tokyo*, 75: 418.
- TATEOKA T., 1963. Taxonomic studies in *Oryza*. IV. Key to the species and their enumeration. *Bot. Mag. Tokyo* 76: 165-173.
- TATEOKA T., 1964. Taxonomic studies of the genus *Oryza*. In: *Rice Genetics and cytogenetics*. Los Baños Philippines February 4-8, 1963.
- TROUSLOT P. et SECOND G., 1980. Technique d'électrophorèse en gel d'amidon appliquée à l'étude de quatorze enzymes du riz. *Travaux et Documents ORSTOM* n° 120.

LE MIL

1. The first part of the document is a list of names and titles.

I. INTRODUCTION

Céréale fondamentale de toute la zone sahélienne, ainsi que d'une bonne partie de l'Inde, le Mil a été introduit dans d'autres régions du globe jusqu'aux U.S.A où il constitue une plante fourragère appréciée. Au Nebraska, il est même cultivé pour le grain destiné à l'alimentation des volailles et des porcs.

Un des récents soucis des programmes d'amélioration a été une diminution du rapport paille/grain notamment en visant à un raccourcissement de la tige, très grande dans la plupart des cultivars traditionnels. Cependant, ces programmes ont souvent trop négligé un paramètre essentiel: la variabilité génétique.

Conscients de cette lacune, les programmes actuels (ORSTOM, CNRS en liaison avec l'IBPGR et l'ICRISAT) ont comme souci majeur et constant le maintien de cette variabilité.

Pour appréhender le mécanisme de maintien de ce polymorphisme, il est utile de rappeler la composition du complexe des mils pénicillaires. En effet, les formes cultivées et sauvages, morphologiquement distinctes, voisinent, en général, et de nombreux échanges géniques peuvent se produire.

La classification de BRUNKEN (1977) permet de définir trois groupes au sein de l'espèce des *Pennisetum* pénicillaires:

— *americanum*: auquel appartiennent toutes les formes cultivées anciennement décrites sous l'appellation « *typhoides* »;

— *monodii* (Maire) BRUNKEN: auquel se rattachent les formes spontanées appelées anciennement « *P. violaceum* Lam. », « *P. mollissimum* Hochot », etc...

— *stenostachyum* (Klotzch ex. A. Br. Bouche) BRUNKEN: regroupant toutes les formes intermédiaires entre les deux précédentes, appelées jusque là « Hybrides *Violaceum* — *Typhoides* » (HVT) ou shibras, n'douls en langue vernaculaire (Niger ou Sénégal). Le tableau 32 définit les principales caractéristiques différentielles de ces trois groupes selon BRUNKEN.

Dans ces trois groupes, celui des *stenostachyum* est certainement le plus vaste car il contient de fait des formes représentant tous les degrés intermédiaires entre les formes cultivées et les formes sauvages.

Par le jeu des hybridations spontanées qui existent entre *monodii* et *americanum*, puis entre cet hybride et les deux formes extrêmes, par des croisements en retour, on obtient aisément un large éventail de structures plus ou moins proches des formes sauvages ou cultivées. Ce groupe est donc probablement constitué de formes non stabilisées, éphémères, transitoires et toujours renouvelées. Un statut taxonomique précis ne se justifie pas.

TABLEAU 32

Caractéristiques morphologiques des sous-espèces de *Pennisetum americanum* (L.) LEEKE selon BRUNKEN (1977).

	<i>americanum</i> (cultivé)	<i>monodii</i> (sauvage)	<i>stenostachyum</i> (intermédiaire)
Tige vigueur hauteur	forte souvent > 3 m	grêle à forte < 3 m souvent décombante et s'enracinant aux nœuds inférieurs	forte souvent > 3 m
Feuilles longueur largeur	souvent > 1 m max. 7 cm	la plupart < 1 m max. 2,5 cm	souvent > 1 m max. 4 cm
Inflorescence forme longueur largeur	cylindrique à largement elliptique 4 – 200 cm (rarement plus) 0,8 – 5,5 cm	cylindrique 2,5 – 20 cm 0,8 – 2 cm	cylindrique 5 – 150 cm (ou plus) 1 – 3 cm
Rachis vigueur largeur	forte 5 – 13 mm	grêle 0,5 – 1,5 mm	grêle à forte 1,5 – 6 mm
Involucres persistance pédicelles soies	persistants, restant attachés au rachis à maturité 1,1 – 25 mm souvent plus courtes que l'épillet	caduques, tombant du rachis à maturité < 0,25 mm plus longues que l'épillet	caduques, tombant du rachis à maturité 0,2 – 1,5 mm plus longues que l'épillet
Epillets nombre par involucre forme longueur	1 – 9 obovés 3 – 6 mm	1 au moins souvent 2 lancéolés 4 – 7 mm	le plus souvent 2 lancéolés à elliptiques ou obovés 4 – 6 mm
Caryopse forme longueur largeur épaisseur exposition couleur	obové obtus à aigu 2 – 5,5 mm 1,6 – 3,2 mm 1,2 – 2,5 mm exposé ou saillant entre les bractées florales jaune à gris souvent tacheté de pourpre à l'apex	elliptique à lancéolé tronqué, comprimé dorsalement 2 – 3 mm 1 – 1,5 mm 0,6 – 1 mm étroitement enfermé dans les bractées florales à maturité jaune brunâtre	obové à elliptique obtus à tronqué modérément comprimé 2 – 4,5 mm 1 – 2,2 mm 1 – 2 mm enfermé ou saillant entre les bractées florales jaune à gris souvent tacheté de pourpre à l'apex

Il n'y a pas de populations autonomes stables de *stenostachyum* contrairement aux deux autres groupes : on trouve des mils cultivés (*americanum*) dans des zones où les *monodii* n'existent pas et, inversement, des populations sauvages (*monodii*) hors des zones cultivées.

Les enquêtes réalisées auprès des cultivateurs traditionnels montrent qu'en général ils n'éliminent pas ou n'arrivent pas à éliminer complètement les formes hybrides. Leur élimination précoce parfois régulièrement réalisée par les agriculteurs est rarement totale. Le maintien des formes spontanées adventices dans les cultivars traditionnels et leur rôle méritent d'être soigneusement étudiés car ils s'agit là d'une situation générale des aires d'origine des céréales cultivées qui semble plus aisée à analyser pour cette plante.

Ces trois « sous-espèces » ont les mêmes caractéristiques reproductives : allogamie préférentielle avec protogynie, et même nombre chromosomique ($2n = 14$). Ce sont des plantes annuelles, adaptées aux mêmes conditions de milieu.

Les hybridations (spontanées ou expérimentales) étant aisées entre les individus de n'importe laquelle de ces « sous-espèces », l'ensemble constitue un seul et même complexe. Certaines anomalies apparaissent cependant dans les F₂ entre certains *americanum* (cultivés) et certains *monodii* (sauvages).

La classification schématique de BRUNKEN avait pour but de clarifier et simplifier la situation laissée par les taxonomistes classiques qui avaient trop multiplié les binômes latins. Cependant, elle ne rend pas compte de cette diversité extraordinaire des formes cultivées. Sur la carte d'Afrique, des types variétaux bien définis sont nettement localisés ; ils restent très significativement distincts malgré l'absence de barrières reproductives marquées. Aussi, les centres de localisation de PORTERES et les critères de détermination des flores méritent-ils d'être soigneusement connus et répertoriés (fig. 32 a, b, c, et d).

La distribution géographique des types cultivés courants est décrite par R. PORTERES (1976) comme suit :

1. Aire ouest-africaine extrême (groupe A, figure 32, a) limitée à l'est par le Niger inférieur. Elle comprend :

a. *P. pycnostachyum*, restreint à la région entre le Sénégal et la Gambie, et le Niger supérieur du Mali et de la Guinée, s'étendant à la Guinée et à la Sierra Leone.

b. *P. gambiense*, du Sénégal et Gambie au Ghana

c. *P. cinereum*, des bassins supérieurs du Sénégal et du Niger jusqu'au Ghana et Togo-Dahomey.

d. *P. nigritarum*, très largement réparti du Sénégal jusqu'au-delà du lac Tchad.

e. *P. leonis*, en Sierra Leone et en Guinée, d'aire restreinte et légèrement marginale...

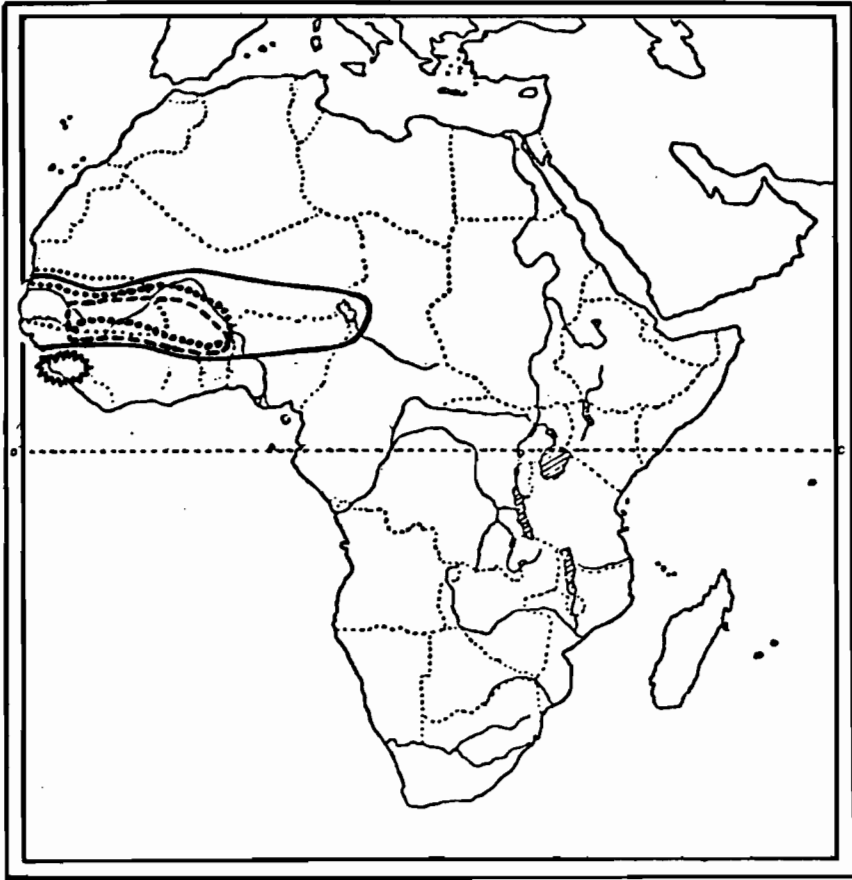


Figure 32 a: Espèces cultivées en Afrique de l'ouest (g. Pennisetum) groupe A d'après PORTERES (1976).

- *P. nigritarum*
- *P. gambiense*
- *P. pycnostachyum*
- · - · - *P. cinereum*
- ~~~~~ *P. leonis*

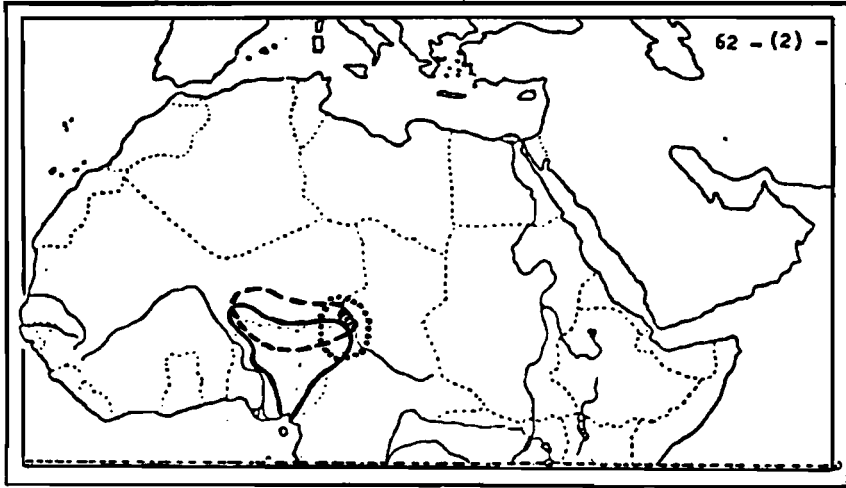


Figure 32 b: Espèces cultivées au Niger-Tchad (g. *Pennisetum*) groupe B d'après PORTERES (1976).

- *P. gibbosum*
- *P. maiwa*
- *P. ancylochaete*

2. Aire ouest-africaine (groupe B, figure 32, b) entre le Niger inférieur et le lac Tchad. Elle comprend:

- f. *P. ancylochaete*, dans les anciens états Haoussa de la Nigéria du nord et du Niger.
- g. *P. maiwa*, d'après son nom Haoussa, occupant les plateaux de Bauchi, et la région entourant le lac Tchad.
- h. *P. gibbosum*, autour du lac Tchad...

3. Aire Nil Soudan orientale (groupe C, figure 32, c) du Tchad à la Mer rouge et l'Océan Indien.

Elle est caractérisée par des formes de culture primitives.

Les épillets tombent précocement, les graines sont bien cachées par les enveloppes (glumes) qui ne sont pas demi-ouvertes et les chaumes tendent à être creux. Ainsi on y trouve:

- i. *P. orthochaete*, au Soudan oriental.
- j. *P. perspicosum*, au Soudan oriental, de Kordofan au Nil bleu.
- k. *P. vulpinum*, au Soudan oriental, en Abyssinie et en Erythrée.
- l. *P. niloticum*, plus étendu, car il s'arrête maintenant au lac Tchad; mais il pourrait avoir été connu plus à l'ouest car il en reste dans la région de Bakel (Sénégal). On le connaît aussi dans toute l'Egypte.

4. Aire est-africaine et angolaise (groupe D, figure 32, d) s'étend du Kenya et de l'Ouganda au Natal, et de la Tanzanie à l'Angola. On y trouve:

- m. *P. malacochaete* de Tanzanie et du Mozambique;
- n. *P. echinurus*, de l'Ouganda au Mozambique, puis jusqu'en Angola;
- o. *P. albicauda*, en Afrique du Sud-ouest et en Angola;
- p. *P. spicatum*, Koemicke (sensu stricto) du Kenya et de l'Ouganda de

Tanzanie et du Mozambique, réapparaissant en Afrique du nord et en Espagne, commun en Inde.

q. *P. typhoides* L.C. Rich (sensu stricto), répandu depuis le bas Congo à l'Angola et l'Afrique du sud-ouest, puis de Rhodésie au natal, et partout en Afrique de l'est comme depuis le Soudan oriental, la Nubie, l'Abyssinie et l'Erythrée, jusqu'en Egypte, Afrique du nord, Arabie, Mésopotamie et Iran. Il est abondamment cultivé en Inde.

Les deux dernières espèces étaient les seules connues des botanistes des XVIème et XVIIème siècles, certains appelant l'Inde la patrie du mil (C. BAUHINI, 1623, etc...) d'autres se référant à l'Amérique (CLUSIUS, 1623, etc...); BAUHINI distinguait *Panicum indicum* ou *P. cæruleum* (avec des graines bleues, correspondant à *Pennisetum spicatum* Koern), de *P. americanum sesquipedale* (correspondant à *Pennisetum typhoides* Stapf et C.E. Hubbard).

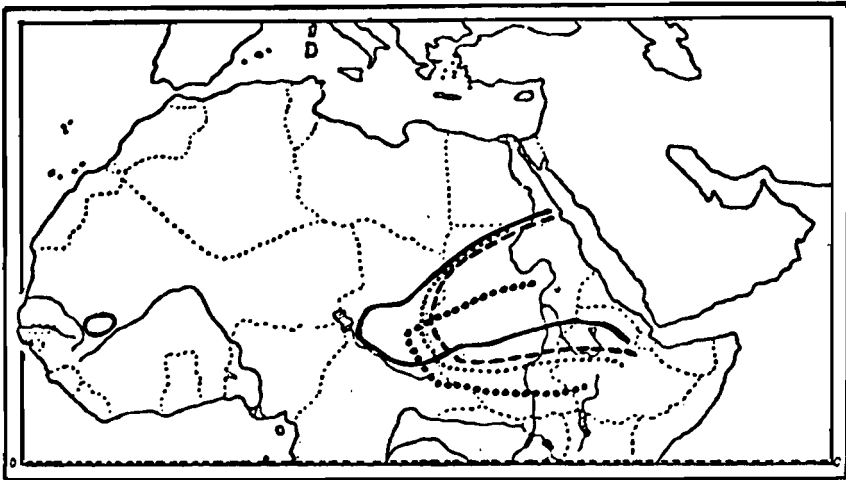


Figure 32 c: Espèces cultivées dans la région du Nil (g. *Pennisetum*) groupe C d'après PORTERES (1976).

- *P. niloticum*
- - - - - *P. vulpinum*
- *P. perspicuosum*
- · - · - *P. orthochaete*

A titre d'illustration des discriminations réalisées par les botanistes dans le complexe des mils pénicillaires nous reportons ci-dessous la description de la section des Penicillaires de la Flore d'Afrique de l'ouest de HUTCHINSON et DALZIEL (1931).

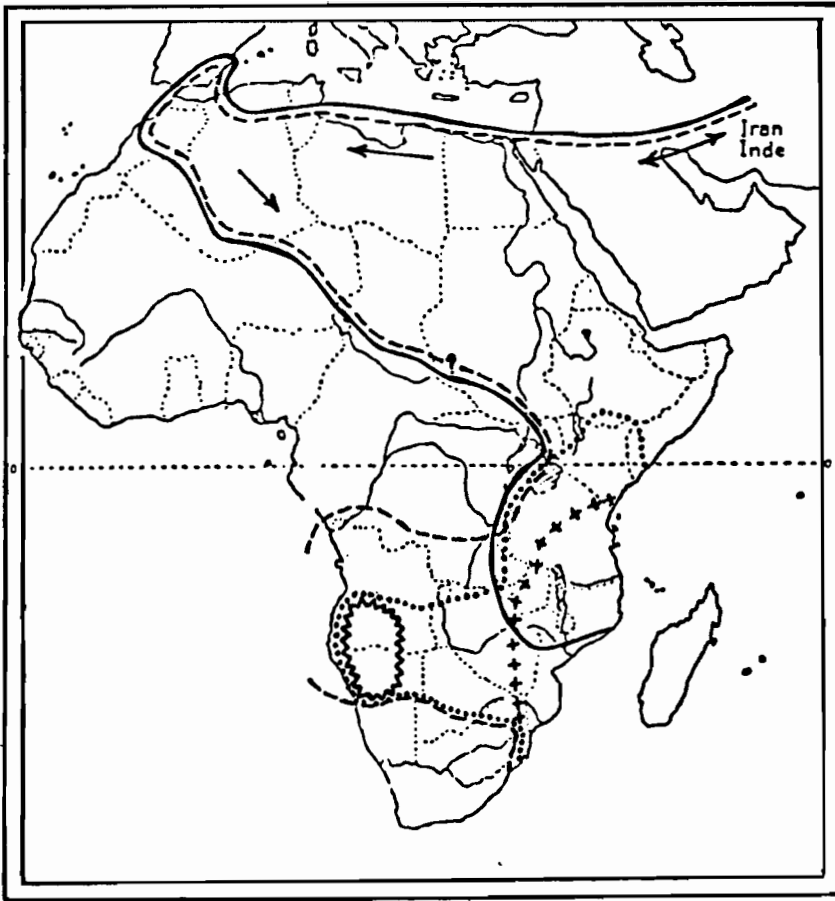


Figure 32 d: Espèces cultivées en Afrique-Asie (g. *Pennisetum*) groupe D d'après PORTERES (1976).

- *P. spicatum*
- *P. typhoides*
- ~~~~~ *P. albicauda*
- *P. echinurus*
- +++++ *P. malacochaete*

+ Pérenne, très haut, jusqu'à 8 mètres de hauteur; faux épi en général de 30 cm de long environ, jaunâtre ou rarement violacé; rachis doucement vilieux; soies nombreuses, inégales plumeuses; ligule membraneuse densément ciliée; limbe linéaire se terminant en pointe fine, jusqu'à 4 cm de largeur, généralement pileux *purpureum*.

+ Annuelles:

- Graminées sauvages; épillets glabres, lancéolés et acuminés à la floraison, nettement caducs à maturité:

- robuste, avec des tiges raides et érigés; feuilles plus ou moins glauques, fermes; fascicules d'épillets non duveteux; faux épi de 10

cm de long environ, doucement pileux; involucre interne de soies de longueurs égales; lemma inférieure elliptique — oblongue, tronquée ou émarginée *ochrops*.

□ non robuste, plus ou moins géniculé, avec souvent des tiges obliques; feuilles vertes, plus ou moins molles; fascicules d'épillets plus ou moins duveteux avec de longs poils sur les soies:

× Soies de l'involucre de longueur égale; glumelles sub-aigües; à pilosité longue partout; faux épi de 15 cm de long environ; rachis doucement villeux; feuilles de 1,3 cm environ de largeur, fortement nervées *mollissimum*.

× Soies de l'involucre inégales; glumelles obtuses; faux épis de type très « queue de renard », de 15 cm de long environ; feuilles presque glabres, au plus de 1 cm de large à la base *rogeri*.

- Graminées cultivées ou souvent dégénérées échappées des cultures ou adventices dans les champs cultivés:

□ Epillets nettement caducs; grain non exsert de l'épillet:

× Epillets complètement glabres et lisses ou avec la glumelle supérieure faiblement rugueuse vers le haut sur les marges, non ciliée ni barbue; glumelle inférieure souvent réduite, 1 mm de long au maximum:

* chaumes ayant jusqu'à 1,25 m de hauteur, érigés ou seulement faiblement géniculés, grêles faux épis jusqu'à 10-15 cm de long, soyeux blanc avec des soies fines, les internes plumeuses; feuilles à pilosité fine *barteri*.

* chaumes courts, faibles, à ramifications divariquées; faux épi jusqu'à 8 cm de long, avec de fines soies, les intérieures très plumeuses; feuilles à pilosité fine *violaceum*.

× Epillets pileux le long des marges de la glumelle supérieure ou très rarement seulement rugueux et alors avec la glumelle inférieure très développée, 3-5 nerviée:

* Soies glabres ou quelques-unes, parmi les plus internes, éparsemment plumeuses en-dessous du milieu; épillets ovés-oblongs, jusqu'à 6,5 mm de long; faux épis de 15 à 20 cm de long, pâles ou violet-pourpres; feuilles de 2 cm de large environ, étroitement nervurées, presque auriculées à la base *dalzielii*.

* Soies en partie glabres (les plus externes) et en partie (les 6-25 internes) nettement plumeuses; glumelle supérieure ovée ou ovée-elliptique, la plupart pubescentes près des marges, rarement glabres:

— glumelle supérieure ovée, avec de rares poils fins près des marges orientés vers le haut ou glabre; épillets jusqu'à 6 mm de long:

○ Fascicules d'épillets plutôt grêles, avec ou non une soie terminale allongée, de couleur paille à violacée; faux épis de 10 cm de long environ; feuilles se terminant en pointe fine, gaines à pilosité longue vers le haut *stenostachyum*.

○ Fascicules d'épillets rebondis, sans soie terminale allongée, brun foncé ou pourpre; faux épis denses, jusqu'à 20 cm de

- long; feuilles lancéolées, se terminant en pointe aigüe et fine, de 20 cm de long, 2 cm de large, gaines ciliées en direction du haut *perrottetii*.
- glumelle supérieure ovée à ovée-elliptique, distinctement pubescente ou presque barbue le long des marges, ou, si glabres, alors avec les épillets de plus de 7 mm de long:
 - Chaumes durs et fermes, incompressibles:
 - Chaumes de 1 m de haut environ, très glauques comme les feuilles, fasciculés à la base, simples ou ramifiés au-dessus, l'entre-nœud le plus bas profondément cannelé; limbes foliaires jusqu'à 1 cm de large; fleur inférieure généralement mâle, avec une lemma bien développée, 3 à 5 nerviée *sclerocladum*.
 - Chaumes jusqu'à 3 m de haut; entre-nœuds les plus bas cylindriques; limbes foliaires jusqu'à 3 cm de large; fleur inférieure très réduite, stérile, avec une petite lemma faiblement, 3-4 nerviée *sampsonii*.
 - Chaumes compressibles, vigoureux, densément barbus aux nœuds supérieurs; épillets de 4-5 mm de long; soies de 6 mm de long environ, parfois la terminale légèrement plus longue; fascicules sessiles ou subsessiles; limbes lancéolés, arrondis à la base, jusqu'à 0,75 m de long et 3 cm de large, éparément hirsutes ou glabres *niloticum*.
 - Epillets généralement persistants; grain généralement exsert des glumelles baillantes:
 - × Soie terminale de l'involucre beaucoup plus longue et vigoureuse que le reste:
 - * Epillets généralement solitaires; involucre subsessiles ou avec un pédoncule jusqu'à 1 mm de long; glumelle supérieure 7-9 nerviée; faux épi très dense, jusqu'à 50 cm de long, pourpre foncé *ancylochaete*.
 - * Epillets en groupes de 2 à 5, très rarement solitaires; involucre pédonculés; glumelle supérieure 5-7 (rarement 9) nerviée; faux épi très dense, jusqu'à 50 cm de long; jaunâtre ou brun *pycnostachyum*.
 - × Soies internes de l'involucre, sub-égales et sans qu'une n'excède nettement le reste:
 - * Soies internes scabres ou quelques-une d'entre elles (2-6) éparément ciliées; faux épi cylindrique long, jusqu'à 1,5 m de long, couleur paille ou pourpre, plus pâle avec le temps; limbes foliaires jusqu'à 0,75 cm de long et 5 cm de large, faiblement à densément pileux ou glabres *nigritarum*.
 - * Soies internes de l'involucre nettement ciliées ou plumeuses, rarement scabres et alors avec le faux épi non cylindrique long; grain non déprimé ni plat sur le sommet.
 - Faux épi de 15 cm de long ou plus, de 1,2 à 3,5 cm de large, chaumes vigoureux, jusqu'à 4 m de haut:

- Faux épi linéaire, régulièrement cylindrique, 25 à 60 cm de long, 12 à 16 fois aussi long que large:
- × Soies internes (6-18) lâchement plumeuses autour de l'épillet et avec des extrémités scabres:
 - Grain oblancéolé ou étroitement elliptique, pointu au sommet *leonis*.
 - Grain largement obovoïde à étroitement obovoïde ou pyriforme, arrondi au sommet *gambiense*.
- × Soies internes (10-25) densément plumeuses sur toute leur longueur ou presque *maiwa*.
 - Faux épi linéaire-lancéolé, jusqu'à 22 cm de long, 6 à 7 fois aussi long que large; soies internes peu abondamment plumeuses *cinereum*.
 - Faux épi jusqu'à 8 cm de long, de 7 à 11 mm de large; chaumes grêles, jusqu'à 1 m de haut; grain gibbeux *gibbosum*.

La flore de HUTCHINSON et DALZIEL apporte en outre des informations sur la localisation des différentes formes décrites. Ces notations peuvent être très utiles pour la préparation des prospections.

P. purpureum Schum. Pérenne robuste formant souvent des bouquets semblables à des bambous ayant jusqu'à 7,5 m de haut.

Partout sur des berges de cours d'eau et dans l'eau; largement répandue en Afrique tropicale et introduite dans la plupart des pays tropicaux.

P. ochrops Stapf et C.E. Hubbard. Annuelle jusqu'à 1,5 m. Nigéria du nord: commune près du lac Tchad. Aussi dans le Darfour, le Soudan de l'est. A. CHEVALIER rapporte aussi une espèce apparentée.

P. darfuricum Stapf et Hubbard, de Nioro, etc... au Mali, qui n'était connue auparavant qu'au Darfour, Soudan de l'est.

P. mollissimum Hochst. Annuelle de 0,60 m environ de haut. Sénégal: Thiès à Saint Louis. Mali, Gao (sept.). Tombouctou. Gourma à Haoussa (juillet). Entre Tahoua et Ingall, à la limite du Sahara. S'étend dans toute la région du Chari au Soudan de l'est.

P. rogeri Stapf et C.E. Hubbard. Sénégal: très commun en culture.

P. Barteri Stapf et C.E. Hubbard. Nigéria du nord: Nupe, dans les champs.

P. violaceum L. Rich. Annuelle jusqu'à 0,5 m de haut. Sénégal: Dakar. Louga. Sahara central.

P. dalzielii Stapf et C.E. Hubbard. Annuelle, rarement supérieure à 2,5 m. Nigéria du nord: province de Sokoto.

P. stenostachyum Stapf et C.E. Hubbard. Annuelle, jusqu'à 1,25 m. Sénégal: cayar. Mbambey (Nov.). Galoin. Près de St Louis. Mbidjem.

P. perrottettii K. Schum. Sénégal: Walo. Thiès à St Louis, dans les champs (juin).

P. sclerocladum Stapf et C.E. Hubbard. Gambie près de Georgetown (janv.).

P. sampsonii Stapf et C.E. Hubbard. Nigéria du nord; Ilorin, en terrain cultivé (déc.).

P. niloticum Stapf et C.E. Hubbard. Sénégal: Gabon. Aussi au Cameroun, Egypte et Soudan de l'est.

P. ancylochaete Stapf et C.E. Hubbard. Nigéria du nord: district de Katagum!

P. pycnostachyum Stapf et C.E. Hubbard. Sénégal: Dakar. Tivaouane. Gambie. Sierra Leone.

P. nigritarum Durand et Schinz. Sénégal: près de Richard Toll. Nigéria du nord: Province de Sokoto. District de Katagum. Kano. Nupe. Kalkala (août). Nigéria du sud: Aburi.

P. leonis Stapf et C.E. Hubbard. Sierra Leone: Njala. Port Lokko. Kamalu (mai).!

P. gambiense Stapf et C.E. Hubbard. Gambie, partout (nov.). Ghana.

P. maiwa Stapf et C.E. Hubbard. Nigéria du sud: Kafanshan (déc.). Nigéria du nord: Ilorin. Yandev. District de Katagum.

P. cinereum Stapf et C.E. Hubbard. Ghana: Tamale (nov.). Territoire du nord.

P. gibbosum Stapf et C.E. Hubbard. Nigéria: rives du lac tchad, cultivé (août).

Les recherches entreprises devront concrétiser le schéma initial par la description précise de l'organisation de ce complexe et de l'évolution de ses partitions (centrifuges, par différenciation progressive à partir d'un centre, colonisant par migrations successives des populations sauvages distinctes ou centripètes, plusieurs sites initiaux et autonomes de domestication convergeant et émoussant progressivement leurs contours).

En terme de ressources génétiques, le stock de départ des programmes d'amélioration inclura donc, non seulement le maximum de variétés traditionnelles mais également les formes sauvages et intermédiaires. De nombreux facteurs de résistance aux agents pathogènes, à la sécheresse, etc..., sont à récupérer au sein de ces populations spontanées ou subspontanées. Il en va de même pour les qualités gustatives et même esthétiques, etc..., auxquelles les consommateurs africains sont particulièrement attachés, la culture du mil étant encore toute empreinte de traditions voire même de religion.

II. ORIGINE ET DOMESTICATION DU MIL

Les données archéologiques, ethnobotaniques et expérimentales sont encore trop éparées pour que l'histoire du mil puisse être détaillée.

Il paraît vraisemblable que le mil ait été domestiqué indépendamment en plusieurs zones d'Afrique, de l'Océan Indien à l'Atlantique, et qu'il y ait eu une circulation importante tant des « idées » de domestication que des formes cultivées, amorces de nouvelles domestications à partir des formes spontanées disponibles.

Le « croissant fertile » africain, du Darfour à Tombouctou, aurait pu être le domaine majeur de ces domestications, d'antériorité décroissante d'Est en Ouest. Ces événements, difficiles à dater, pourraient être antérieurs, dans certains cas, à -3000 av. J.C. Les données des fouilles dans le site de Dhar Titchitt, Mauritanie (MUNSON, 1976), témoignent de l'acquisition du mil cultivé en deux siècles, de -1000 à -900 av. J.C., sans qu'il puisse être démontré qu'il s'agisse d'une domestication sur place ou d'introductions.

Très tôt, le mil aurait quitté l'Afrique vers l'Inde, où il s'est facilement développé, et a même gagné la Chine où il a maintenant quasiment disparu. Il s'est étendu vers le Nord de l'Afrique (Tunisie, Maroc, Algérie et même en Espagne où il est encore cultivé).

La carte (Figure 33) schématise quelques hypothèses et données archéologiques courantes.

Les données de prospection, la diversité des formes qui avaient conduit à une multitude de dénominations d'espèces, l'existence de formes sauvages encore naturellement couplées aux formes cultivées dans toutes les zones de culture au Sud du Sahara, du Tchad au Sénégal, les nombreuses aires de diversité construites sur des types différents, certaines discontinuités dans les clines morphologiques (les mils maliens ne sont pas des intermédiaires entre les mils sénégalais et les mils nigériens), la multiplicité des formes marginales (mil guinéen type *leonis*, mil d'oasis nigérien préfigurant les Droû de Tunisie, l'irrégularité des formes « massue »), les types orientaux, d'Afrique australe, variés (Tanzanie, Malawi, Zambie), l'existence de formes peu domestiquées (certains Ligui du Tchad), toutes ces données disséminées qui ne constituent pas, loin de là, un inventaire organisé, font penser l'histoire du mil en termes de domestication « non-centre » selon la terminologie de HARLAN (cf. Chap. I, partie II).

L'idée plus saine devrait être la suivante: l'Afrique représente un vaste domaine où le complexe d'espèces du mil présente deux partitions emboîtées. Une partition géographique et, dans chaque localité, souvent, la partition des compartiments cultivés (*americanum*) et sauvages (*monodii*) dont les *stenostachyum* (chibra, n'douls) témoignent du couplage récurrent.

III. PROSPECTIONS

Celles-ci ont commencé en 1975, sur financement international; elles font l'objet d'une convention entre l'IBPGR et l'ORSTOM. Les différents pays de la région sahélienne de l'Ouest africain ont été parcourus par une série d'équipes de l'ORSTOM. Dans chaque pays, la collaboration d'organismes de recherche nationaux est demandée dans la mesure du possible.

Le matériel est expédié pour le compte de l'IBPGR aux Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM à Bondy (France), pour y être stocké en chambres de conservation, le temps nécessaire pour permettre la distribution aux organismes équipés pour les conservations à long terme (ICRISAT, USDA Fort Collins et Centres de Ressources Génétiques à créer).

Un double des échantillons collectés a été mis à la disposition de chaque pays prospecté.

A. LES MÉTHODES DE PROSPECTION

1. Époque

Lors d'une prospection, un certain nombre de contraintes sont à prendre en considération:

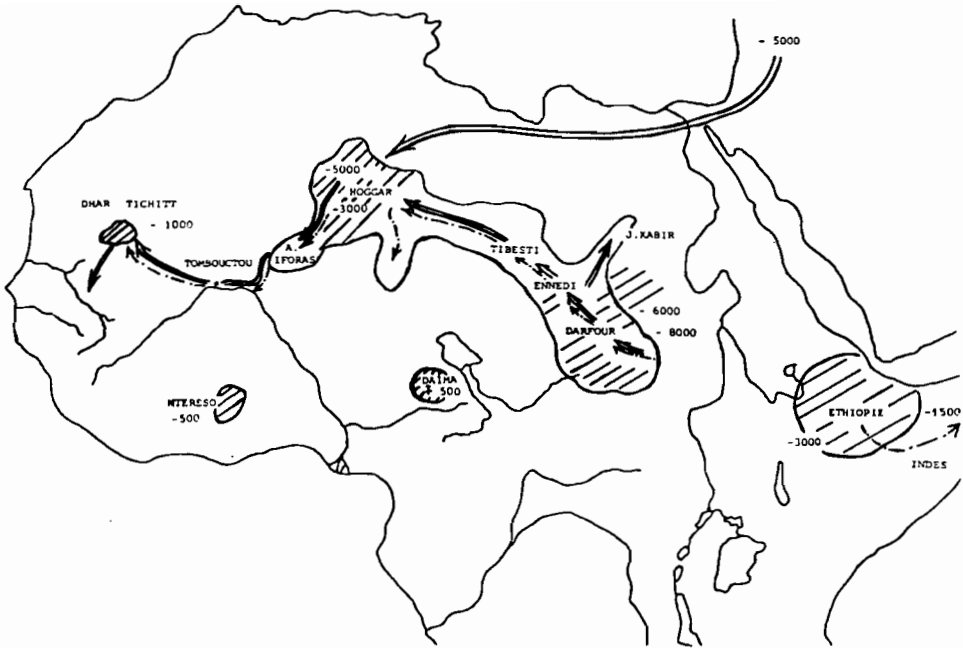


Figure 33: Information très incertaine sur les zones de domestication du mil; les données archéologiques et les ordres de grandeur des dates sont tirés de MUNSON (1976).

- ////// domestication sur place possible
 - circulation des idées de domestication
 - - - - -> circulation des plantes (migration des agriculteurs et de leurs cultures).
- Les chiffres correspondent à des nombres d'années avant ou après J.C.

- Possibilité d'accès à certaines régions isolées par l'impraticabilité des pistes tant que la saison sèche n'est pas suffisamment installée;
- Maturation du matériel à collecter (des différences de précocité existent entre les cultivars);
- Des contraintes sociologiques telles que l'existence d'interdits religieux protégeant les champs jusqu'à la récolte;
- Prélèvement de grains suffisamment secs pour éviter les moisissures ultérieures.

Toutes ces contraintes conduisent à choisir une époque de prospection en fonction de la maturation des mils les plus tardifs. Ce passage après la récolte présente l'avantage de pouvoir apprécier plus facilement que sur pied la variabilité de la culture, soit en silo, soit en grenier. Ceci va de pair avec une enquête auprès de l'agriculteur concerné.

Toutefois, s'il existe des mils très précoces qui jouent le rôle de « vivre de soudure » de fin d'« hivernage », la prospection doit être effectuée avant que la récolte n'ait été totalement consommée. En effet, le paysan n'accepte que très difficilement, on le comprend, de se démunir de graines

réservées pour le semis de l'année suivante. D'autre part, la caducité des épillets chez les formes spontanées impose également une collecte relativement précoce.

Les mils très précoces et les formes sauvages se localisent plus spécialement au nord de la zone sahélienne, une prospection dans ces régions doit se faire à deux époques distinctes. Dans le cas particulier des mils d'oasis et de décrue, les dates de maturation qui peuvent avoir lieu à des époques diverses fixent celles des prospections.

Dans la pratique, la prospection d'un pays en deux temps étant difficilement envisageable par une même équipe, une moyenne a en général été choisie: les différentes prospections ont commencé entre le début et la fin du mois de novembre, certaines cultures pouvant être encore en champ.

2. Technique de prospection

a. Le pas d'échantillonnage

Pour obtenir l'inventaire le plus complet possible des Ressources Génétiques du mil, la recherche sur le terrain du matériel végétal impose une « couverture » maximum des différentes zones géographiques.

Dans cette optique, le quadrillage ne doit, dans la mesure du possible, laisser inexplorée aucune plage susceptible de receler des populations de génotypes différents.

Lorsque la densité de culture le permet, le pas moyen d'échantillonnage est fixé à 20 km, un paysan parcourant aisément une zone de ce diamètre centrée sur son village. La distance entre deux points de prélèvement augmente chaque fois que l'on est en présence de zones inhabitées (réserves de faunes, déserts, terres inondées) ou d'ethnies qui ne cultivent pas le mil.

b. Le mode de prélèvement

En général, avec le propriétaire, on ouvre le silo où sèche la récolte (ou, à défaut, on parcourt le champ); les chandelles sont étalées, on peut alors apprécier la variabilité locale. Avec l'aide du cultivateur, les formes les plus typiques sont isolées et conservées en chandelles entières. Pour échantillonner le maximum de la récolte, on prélève ensuite de petits tronçons de chandelle sur l'ensemble du silo ou du champ. L'unité de prélèvement de 300 grammes, recommandée par l'IBPGR n'a pas toujours pu être atteinte. Elle est quasiment impossible à réunir pour les formes spontanées dont les modalités d'échantillonnage sont complètement différentes et ressortent plutôt de l'analyse des populations.

c. L'enquête

Chaque prélèvement s'accompagne d'une enquête auprès du cultivateur qui fournit les échantillons. Les informations recueillies sont indispensables pour comprendre l'organisation variétale au niveau du village, de la région, voire de l'ethnie.

Les informations concernent :

- le nom du village et l'ethnie majoritaire
- l'ethnie du cultivateur
- les noms vernaculaires : . de chaque variété de mil cultivée
 - . des mils sauvages
 - . des formes intermédiaires
- l'origine de la semence. Si la semence n'est pas produite traditionnellement, il est nécessaire de savoir d'où elle provient et depuis combien de temps elle est multipliée
- date de la première pluie d'hivernage
- date de semis
- date des récoltes
- techniques culturales : . semis en sec ou terre mouillée
 - . repiquage
 - . culture à plat, billon ou butte
 - . culture de décrue
 - . culture pure ou associée (association au niveau du champ ou du poquet)
 - . utilisation d'irrigation
 - . assolement
- attitude du cultivateur vis-à-vis des hybrides sauvage × cultivé :
 - . plantes récoltées et consommées par l'homme
 - . plantes conservées et coupées après épiaison pour fourrage
 - . plantes éliminées tardivement avant montaison
 - . plantes éliminées précocement au démarriage
- usages et préférence gustative
- résistance aux parasites
- comportement et aptitude à la sécheresse des variétés.

Ces informations de base que le prospecteur confronte avec son appréciation du matériel végétal présent devant lui permettent de déceler certaines imprécisions ou contradictions apparentes. C'est alors qu'une discussion avec les cultivateurs est des plus utiles. Ainsi, dans le cas d'une variété tardive, semée à deux dates différentes, dans un même lieu (semis normal début saison des pluies, fin mai par exemple et semis décalé : 15 août par exemple), la morphologie de la plante entière, ainsi que son cycle végétatif raccourci, peuvent laisser supposer que l'on est en présence de deux variétés différentes alors que les conditions de culture sont seules responsables de la modification phénotypique de la même unité. C'est ce qui est apparu très clairement pour la variété Amala au Togo. Les plantes semées en « décalé » ont une hauteur beaucoup plus faible et des chandelles bien plus petites que les plantes semées normalement en début de saison.

3. Bilan global

En partant d'Ouest en Est, le tableau 33, ci-dessous, indique les différents pays qui ont été prospectés, le nombre de jours de mission, le nombre d'échantillons collectés et le nombre de kilomètres parcourus.

TABLEAU 33

Prospection des mils d'Afrique de l'Ouest par l'ORSTOM.

PAYS	Date	Nombre de jours de mission	Nombre d'échantillons collectés	Nombre de km parcourus	PROSPECTEURS
Sénégal	1976	44	278	10.000	Clément-Houdiard
Mali	1975	49	407	8.000	Grouzis-Marchais
	1976				Borgel-Grouzis
	1978/79	90	500	17.000	Clément-Leblanc
Haute Volta	1975	15	306	2.400	Huttel-René
Togo	1977	27	131	5.500	Clément-Leblanc
Niger	1976	83	449	15.000	Borgel-Séquier
Nigéria*	1976	27	102	10.000	Clément-Houdiard
Cameroun	1975	43	150	12.000	Clément-Sequier
Empire					
Centrafrique	1975	37	60	6.000	Clément-Sequier
Bénin	1978	35	145	5.500	Combes-Niangado
Mali	1981	35	213	5.700	Clément-Zongo Zangre-Perret
		485	2.741	97.100	

Des missions sont actuellement en cours pour poursuivre la couverture de l'Afrique de l'Ouest, encore incomplète comme le montre la carte de la figure 34.

B. LES CULTIVARS RÉCOLTÉS

Nous décrivons sommairement, à titre d'exemple, les cultivars rencontrés par les prospecteurs dans deux pays: le Sénégal et le Niger. Pour de plus amples détails, nous renvoyons aux publications réalisées sur ce sujet (essentiellement CLEMENT et *al.*, 1979).

1. Les mils du Sénégal

Les paysans sénégalais classent les mils qu'ils cultivent en deux groupes qui sont fonction du seul critère de précocité qu'ils manifestent en période

* En ce qui concerne le Nigéria, la prospection s'est déroulée en deux temps. Une première équipe IBPGR était chargée de collecter, les formes précoces, l'équipe CLEMENT—HOUDIARD était chargée de collecter les formes tardives. Les chiffres donnés dans ce tableau ne concernent que la mission CLEMENT-HOUDIARD. Le matériel collecté par les deux équipes, en 1976, n'a pas encore quitté le territoire Nigérian!

normale de culture dite « pluviale ». Les formes précoces sont appelées « Souna » (80-100 jours du semis à la récolte), les formes tardives « Sanio » (130-150 jours du semis à la récolte). Cette différence provient de ce que les Sanio ne fleurissent que lorsque la longueur du jour est suffisamment faible (12 heures : cf. contrôle photopériodique de la floraison, page 198). Les Souna, par contre, fleurissent même en jours « longs », au Sénégal.

Une troisième variété reconnue est le Tiotandé. Outre des caractères physiologiques et morphologiques originaux, son mode de culture déssaisonné sur les terres exondées du fleuve Sénégal ou de son affluent la Falémé (culture de « décrues ») le distingue nettement.

a. Les Souna

Leur aire de répartition se situe principalement au Nord de la Zambie (isohyète 1000 mm). Au sud de cette ligne, les Souna sont surtout utilisés comme « vivre de soudure ».

Le faux épi, long de 55 à 80 cm, de forme allongée, plus ou moins cylindrique, porte des épillets densément répartis le long du rachis, ce qui donne aux chandelles cette forte compacité bien spécifique aux Souna du Sénégal. Le grain, de couleur gris-jaune, est petit, étroit, souvent de forme elliptique, avec au sommet un mucron plus ou moins développé. La texture de l'albumen est fortement cornée.

Les Souna ne montrent dans leur ensemble qu'une assez faible variabilité de la forme et des dimensions du faux épi. Il est possible de distinguer trois formes :

- chandelle effilée, presque cylindrique, de 70 cm à 80 cm de long, principalement localisée le long du fleuve Sénégal ;
- chandelle légèrement conique, de 60 à 75 cm de long que l'on trouve répartie sur l'ensemble du pays, qui constitue le vrai type Souna.

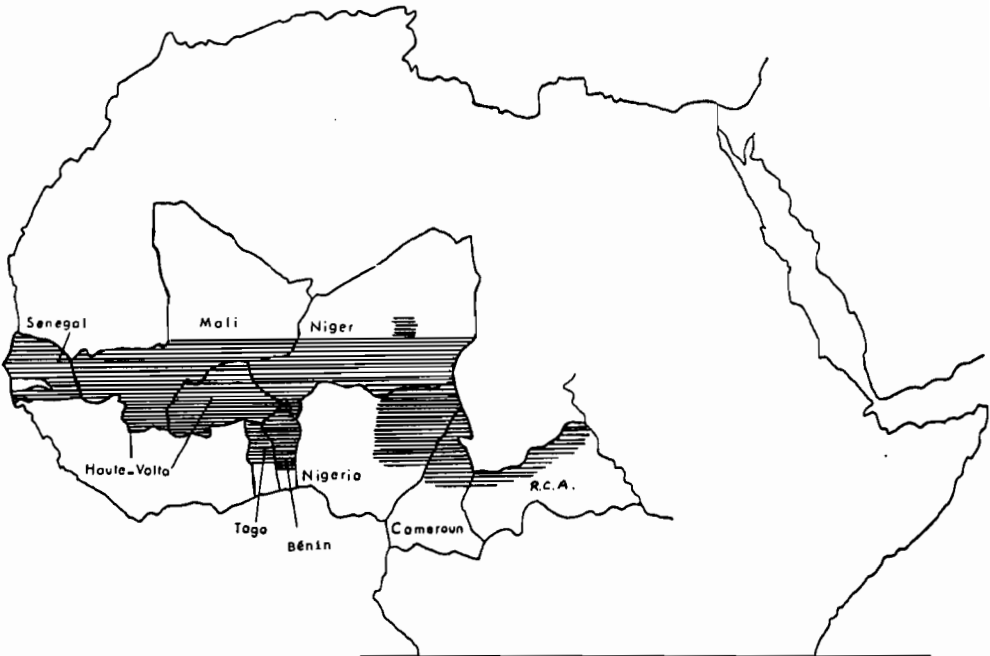


Figure 34 : Zone parcourue pour les prospections de mil par l'ORSTOM

— chandelle conique nettement plus courte (45 à 55 cm) et plus large, rencontrée seulement chez quelques cultivateurs du nord de la Casamance.

b. Les Sanio

Dans la zone au nord de l'isohyète 800 mm, la culture de ces formes tardives s'est progressivement effacée au profit des précoces.

L'évolution climatique de ces dernières années ne leur permet plus d'atteindre un développement végétatif suffisant.

La variabilité morphologique du faux épi est plus importante que celle observée chez les Souna :

— les formes aristées :

- chandelle de 40 à 55 cm de long, forme cylindrique, à grains gris-jaune, petits, étroits, à vitrosité élevée. L'aristation est plus dense que pour le type précédent. Les paysans le considèrent comme plus tardif. Il est appelé, en général, Sanio de Casamance.

— les formes mutiques :

on ne les trouve qu'en Casamance et au Sénégal oriental.

- chandelle courte, de 30 à 35 cm, cylindrique. Le grain est petit, jaune assez clair, d'une vitrosité équivalente à celle des Souna. La chandelle est également très compacte.

- chandelle longue, de 60 à 70 cm, nettement cylindrique, étroite, avec des grains densément répartis jusqu'au sommet du rachis, d'où une forme arrondie de l'extrémité de la chandelle. Le grain est gris-jaune, plus gros et plus farineux.

c. Le Tiotandé

Ce mil très précoce a aujourd'hui presque totalement disparu des cultures de « décrue » de la vallée du fleuve Sénégal. Il n'en subsiste plus que quelques foyers de culture à Matam et Podor.

La disparition de ce cultivar est liée à la régression des terres exondées du fait de l'affaiblissement des crues. Ceci amène les paysans à faire un choix en faveur de cultures plus rentables.

De taille peu élevée (1,80 à 2 m), le tiotandé a des chandelles relativement courtes (25 à 30 cm de long), assez larges (45 à 55 mm). On peut rencontrer, à l'intérieur d'une même population, de faux épis mutiques et d'autres faiblement aristés.

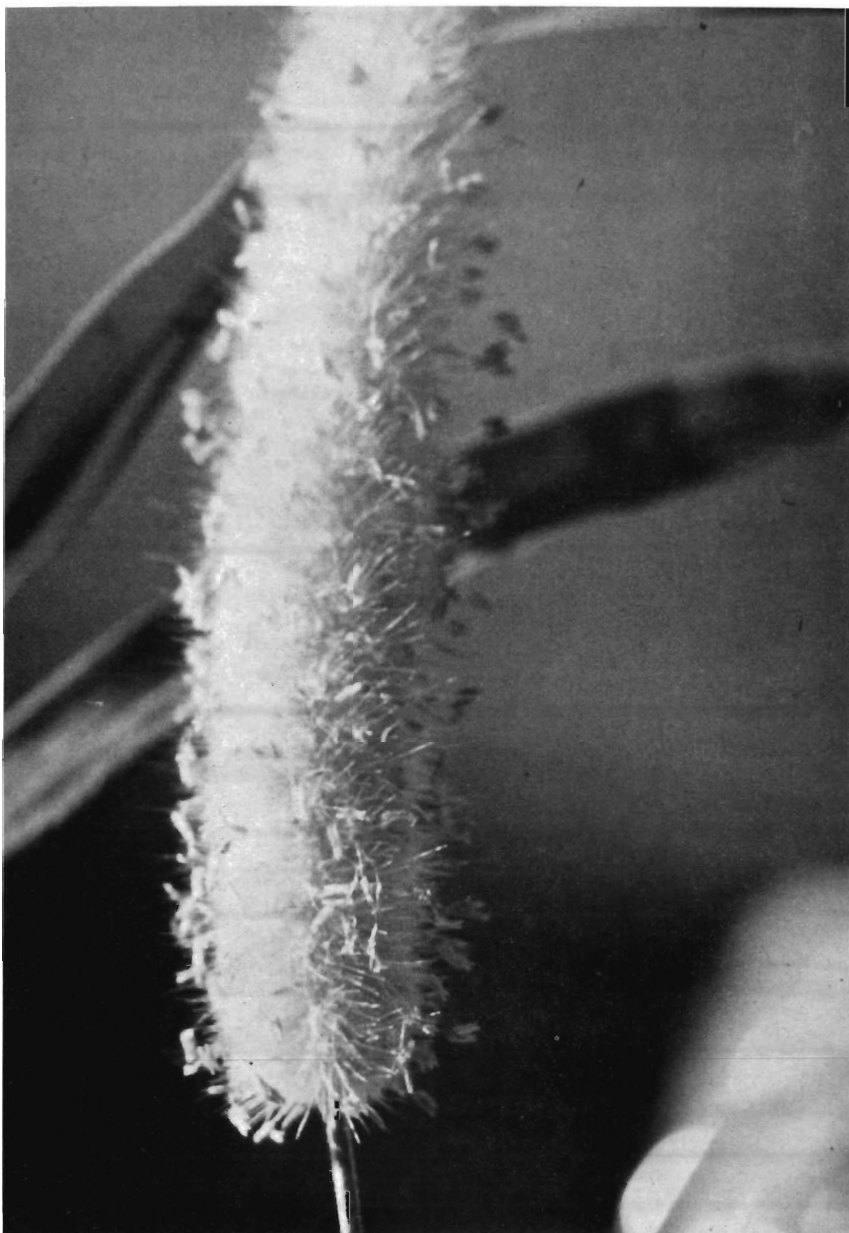
2. Les mils du Niger

Le Niger se caractérise par la présence de grands types de mils traditionnels dont les aires de culture se succèdent d'Est en Ouest, tantôt se recouvrent partiellement ou complètement, et tantôt se juxtaposent.

On ne rencontre que des mils hâtifs, répartis sur toute une gamme de précocités (60 jours pour Boudouma à plus de 100 jours pour Zongo) et une seule variété semi-tardive à cycle d'environ 130 jours Maewa ou Somma qui comprend des sous-variétés de précocités plus ou moins grandes.



Récolte de Mil en Pays DOGON



Epi de mil sauvage: *Pennisetum mollissimum*

a. Le Boudouma

Il est cultivé dans l'Est, en particulier autour du lac Tchad. La chandelle est courte (21 à 24 cm) et relativement ramassée et cylindrique. Le cycle végétatif est le plus court de tous les mils nigériens (50 à 60 jours).

b. La famille Ba Angoure

Elle comprend, outre le Ba Angoure (Haoussa) cultivé dans l'Est (Zinder), un certain nombre de cultivars de chandelles analogues: longueur moyenne 30 à 50 cm, assez peu élancées et le plus souvent cylindriques: Massangri, Dan Barnou, Dan Tchama, (Haoussa).

De plus, un certain nombre d'autres cultivars appartiennent également à cette famille; ce sont:

- Bodendji (Manga) à chandelle moyenne un peu plus longue (49 à 50 cm)
- Moro (Manga) à chandelle plus petite (30 à 40 cm)
- Ba Angoure de l'ouest, à chandelle beaucoup plus longue (70 à 95 cm) et de forme beaucoup plus élancée.

Tous ces cultivars ont des chandelles cylindriques.

Bodendji et Moro ont des cycles végétatifs de 90 jours.

Ba Angoure est parfois plus précoce (75 à 90 jours).

Massangari et Dan Tchama peuvent être plus tardifs (90 à 100 jours).

c. Le groupe des mils coniques

Ankoutess et File (Haoussa) ont une chandelle courte (20 à 30 cm) et trapue. Ce sont les plus précoces (85 à 95 jours). Tamangagi (Haoussa) a une chandelle de longueur moyenne (35 à 45 cm) et large. Son cycle végétatif est un peu plus long (85 à 100 jours). Gamoji (Haoussa) a une chandelle un peu plus longue (30 à 50 cm) et plus amincie. C'est le plus tardif (90 à 100 jours).

Ankoutess s'est étendu vers le Sud, l'Ouest et le Sud-Est. Cette dernière progression est ancienne. Les deux autres, plus récentes, sont liées au remplacement de variétés par suite de la sécheresse.

d. Le Zongo

C'est un mil de grande taille qui occupe toute la région centrale du Niger, ce qui constitue un prolongement de son aire de culture du Nigéria.

La chandelle a une longueur variable selon les régions mais toujours grande (70 à 155 cm). Elle est effilée et porte des grains dont l'implantation sur le rachis est lâche. Son cycle végétatif est d'environ 110 jours.

e. La famille Maewa-Somma

Le premier terme est en langue Haoussa, le second en Djerma. Pour ce cultivar également, l'aire de culture principale semble être au Nigéria. On le retrouve aussi dans le Nord du Bénin.

Il a une chandelle cylindrique, relativement longue et effilée (55 à 115 cm), en général de couleur grise. Le cycle végétatif varie de 120 à 160 jours.

f. Les Zanfaroua, Guerguera-Fassama, Bazaome, Haïni-Kire, Kolala, Nlet.

Ce sont des cultivars distingués par les paysans mais présentant des caractéristiques morphologiques très proches: chandelle généralement cylindrique et effilée (50 à 90 cm), précocité de 90 à 100 jours.

IV. CONSERVATION DES ÉCHANTILLONS

Afin de maintenir le plus longtemps possible leur pouvoir germinatif, on conserve les semences en chambre froide à $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, avec une humidité relative de l'air de 30%.

Des tests de germination sont effectués périodiquement afin de s'assurer que le taux de celle-ci ne faiblit pas. Dans le cas où elle se produirait, une multiplication des échantillons concernés est envisagée. Une telle multiplication est déjà réalisée dans les serres tropicalisées de l'ORSTOM à Bondy, pour les échantillons de trop petit effectif.

En effet, dans certains cas, les prospecteurs ne peuvent obtenir les 300 grammes par échantillon recommandés par la FAO: récolte trop faible ou cultivar hâtif existant dans le village seulement sous forme de semences pour la prochaine campagne, la récolte proprement dite ayant été consommée avant le jour de la prospection.

La multiplication des échantillons en serre peut, à première vue, apparaître comme une aberration: problèmes de surfaces, de lumière, dérives très importantes du fait d'effectifs très limités, etc...

Cependant, elle présente des avantages appréciables:

- meilleure possibilité de contrôle des diverses opérations
- absence des principaux parasites.

A l'occasion de cette mise en collection, un catalogue des divers échantillons est constitué. Grâce à celui-ci, il est possible de fournir aux utilisateurs éventuels les principales caractéristiques des cultivars qui leur sont expédiés.

Le problème de la conservation est cependant loin d'être simple. Il est évident que, même dans les conditions les meilleures, les semences ont une durée de vie limitée.

D'autre part, nous avons à faire à une plante allogame qui ne saurait être multipliée par autofécondation (bien que celles-ci soient réalisables, généralement facilement). La méthode utilisée par l'ICRISAT à Hyderabad consistant à opérer par croisements «frère-sœur»^{*} paraissait séduisante à première vue. Cependant, c'était faire abstraction de la dynamique d'entretien des cultivars traditionnels par les paysans africains.

On a mentionné précédemment l'existence en équilibre avec les formes cultivées de formes spontanées (shibras, n'douls...) contre lesquelles certains cultivateurs n'opèrent qu'une sélection douce. Ceci permet sans aucun doute le maintien dans les cultivars de nombreux facteurs de résistance à des contraintes diverses et multiples, dans le contexte de l'agricul-

^{*} En réalité, plusieurs épis d'un même échantillon sont mis sous un même sac afin de permettre leur interpollinisation («cluster-bagging»).

ture traditionnelle. Néanmoins, les cultivateurs ont présent à l'esprit un type assez précis de leur variété cultivée, reconnaissable pour l'essentiel à la chandelle. Aussi conservent-ils, pour la semence uniquement, les chandelles correspondant à ce type, même si elles ont été partiellement pollinisées par les subspontanés qui, eux, ne sont jamais récoltés pour faire la semence.

Par conséquent, les croisements « frère-sœur », sans sélection en faveur du type traditionnel, vont entraîner au cours des générations :

— d'une part, une modification incontrôlée de la constitution génétique (érosion génétique) du cultivar dans lequel on finit par ne plus reconnaître les caractéristiques d'origine ;

— d'autre part, une fréquence croissante de formes subspontanées, leur vigueur particulière ayant pour conséquence une sélection involontaire en leur faveur.

Il serait donc indispensable, si l'on veut conserver à peu près intacts les cultivars d'origine, de se rapprocher au maximum des méthodes utilisées par les paysans qui les entretenaient habituellement, dans des conditions de milieu aussi proches que possible de la situation initiale. S'il n'est pas possible de créer de véritables réserves de Ressources Génétiques il faut cependant tenter de les simuler dans plusieurs stations.

Les études décrites dans le paragraphe suivant (évaluation) montreront que l'analyse des variétés traditionnelles et de la génétique de la domestication donnent des consignes pour la mise en place de stations de conservation dynamique regroupant des variétés relativement homogènes et caractéristiques d'une zone donnée et gérée avec des sélections systématiques de type paysanal.

V. ÉVALUATION

Les activités de prospection et de mise en collection ne constituent qu'un préalable. Il faut aller plus loin dans la connaissance du matériel rapporté.

Les travaux d'évaluation génétique doivent permettre de fournir aux sélectionneurs des diverses régions du globe, mais aussi aux centres de recherche internationaux, les données essentielles à l'établissement de programmes sérieux d'amélioration variétale et conduire à l'organisation de véritables réseaux de conservation dynamique.

Des travaux en cours, nous extrayons quelques acquis, bien loin encore de permettre une description claire de ce vaste complexe diploïde allogame. Ces travaux abordent quelques données essentielles pour poser les problèmes de conservation, particulièrement délicats ici.

A. UN EXEMPLE DE PERTES ALLÉLIQUES DANS LES COLLECTIONS DU MIL : LE SYSTÈME DES ALCOOLDÉSHYDROGÉNASES (ADH)

La technique d'électrophorèse met en évidence, pour l'alcooldéshydrogénase, trois groupes de protéines de migration distincts. L'étude des

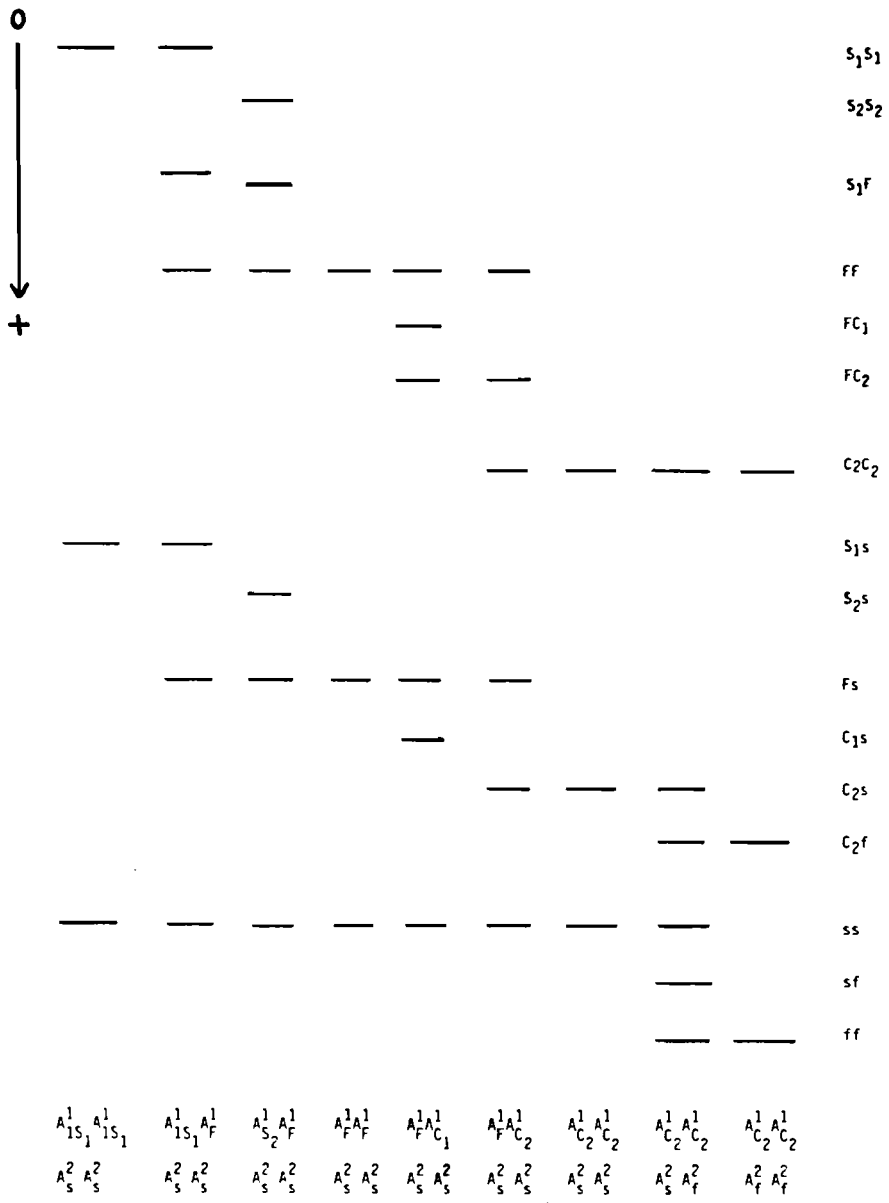


Figure 35: Différents zymogrammes de l'alcooldéshydrogénase obtenus chez le mil (sur méristème apical de plantules de deux semaines).

différentes formes de cet enzyme a permis de définir la composition et le mode de fonctionnement de ce système. Les différents groupes sont constitués par la dimérisation des produits primaires de deux gènes différents, ce qui conduit à la formation de dimères dont nous avons pu montrer (LEBLANC, 1978) qu'ils avaient des propriétés biochimiques distinctes.

Les deux gènes responsables de la formation des alcooldéshydrogénases, A_1 et A_2 , sont indépendamment induits et, par là même, conduisent à la création d'un système remarquablement plastique, lors de sa mise en service.

Le gène A_1 est responsable des bandes les plus lentes et semble le plus variable puisque nous connaissons pour ce gène au moins cinq formes alléliques (S_1 , S_2 , F, C_1 , C_2 , de la plus lente à la plus rapide).

Pour le gène A_2 , nous ne connaissons à l'heure actuelle que deux allèles (s et f). (Figure 35).

L'alcooldéshydrogénase est impliquée dans la voie de la glycolyse anaérobie et, de ce fait, représente un mode de résistance aux phénomènes d'asphyxie que connaît la plante en début de cycle et, au cours des brèves mais abondantes pluies des régimes tropicaux.

1. Criblage de quelques lignées de base

L'électrophorèse de différentes lignées d'origines variées (tableau 34) met en évidence une grande proportion de type A_1^1 . Il semble donc au premier abord, que les autres types alléliques soient très rares dans les populations de mils qui ont été entretenues par autofécondations, pour constituer le matériel de base du travail des sélectionneurs.

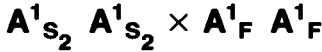
Ceci implique que les hybrides réalisés à partir de ce matériel seront dorénavant monomorphes pour le gène A_1 .

TABLEAU 34

Génotype pour le gène A_1 de l'alcooldéshydrogénase de mils de provenances différentes.

NOM DU TYPE	LIEU DE MULTIPLICATION	GENOTYPES
Tifton 239 DB	USA	FF
Tifton 23 DB	USA	FF
Ligui	Tchad	FF
J 472	Inde	FF
Iniadi	Haute Volta	FF
Nigritarum	Bambey	FF
Maewa	Niger	FF
Maewa	Bambey	FF
Sanio	Sénégal	FF
Massue	Bambey	S_2S_2
(Mollissimum)	Mali	FF
Tiotandé	Sénégal	FF
J 104	Inde	FF
Souna	Sénégal	FF
Sidi-Daoud	Tunisie	FF
Zarzis	Tunisie	FF
Oasis de l'Iferouane	Niger	FF

2. Etude de la descendance d'un croisement



La descendance étudiée à travers une F_2 de ce croisement montre une forte distorsion avec une déficience significative des individus homozygotes $A^1_{S_2} A^1_{S_2}$ (tableau 35). Il a pu être montré que cette distorsion était due à un phénomène de contre-sélection qui conduit donc inévitablement à une disparition rapide du type allélique S_2 des populations en multiplication. Ceci pourrait expliquer les résultats observés sur les lignées de base.

Des études enzymologiques semblent montrer des différences significatives dans le fonctionnement des différents types alléliques, ce qui pourrait expliquer le phénomène de distorsion, mais entraîne également des variations de comportement des individus face à une asphyxie.

TABLEAU 35

Distorsion observée en deuxième génération (F_2) d'un croisement entre les deux géotypes $A^1_{S_2} A^1_{S_2} \times A^1_F A^1_F$.

	S_2S_2	S_2F	FF	TOTAL	X2
Objectif observé	128	395	196	729	19,737
Objectif théorique	182,25	364,5	182,25	729	

3. L'acooldéshydrogénase des mils de Côte d'Ivoire

L'électrophorèse d'individus de cultivars traditionnels en Côte d'Ivoire met par contre en évidence une grande variabilité au niveau du gène A_1 (tableau 36). Si au niveau de cette hétérogénéité, les populations diffèrent significativement les unes des autres, il n'en reste pas moins qu'il y a un maintien des formes S_1 et S_2 du gène A_1 .

Ainsi donc, il devient évident qu'il sera impossible de réaliser cette hétérozygotie à partir des lignées de base que nous avons criblées, où un simple phénomène de contre-sélection semble faire s'installer le type F au détriment des autres formes.

Si le rôle adaptatif des différentes formes alléliques de l'acooldéshydrogénase se confirme, nous nous trouverons alors devant le dramatique problème de la disparition d'individus adaptés à un certain milieu au cours de leur multiplication contrôlée et souvent en effectif limité.

Cela imposerait alors d'avoir une nouvelle politique de mise en place de lignées de base, avec l'établissement d'une sélection compensatrice automatique, qu'il faudrait déterminer.

TABLEAU 36

Position des échantillons		Pluviométrie Juil. Août	Fréquence allélique ADH			Fréquence allélique PGM	
Latitude	Longi- tude		mm	S ₁	S ₂	F	R
9°09'	5°44'	100-200	0,29	0,23	0,48	0,52	0,48
10°03'	6°45'	400-500	0,13	0,35	0,52	0,54	0,46
9°35'	4°19'	0-100	0,34	0,13	0,53	0,30	0,70
9°27'	4°43'	100-200	0,22	0,26	0,53	0,46	0,54
9°08'	5°15'	200-300	0,31	0,14	0,55	0,43	0,57
9°57'	5°36'	300-400	0,20	0,25	0,55	0,56	0,44
10°34'	6°32'	400-500	0,12	0,23	0,65	0,83	0,17
8°18'	2°56'	100-200	0,06	0,24	0,70	0,07	0,93
9°50'	3°09'	400-500	0,13	0,16	0,71	0,15	0,85
9°26'	3°06'	200-300	0,17	0,10	0,73	0,09	0,91
9°27'	7°15'	400-500	0,10	0,08	0,82	0,44	0,56

Fréquence allélique de l'alcooldéshydrogénase (ADH) et de la phospho-glucomutase (PGM) de cultivars ivoiriens sur des échantillons de 60 individus, en avril 1979.

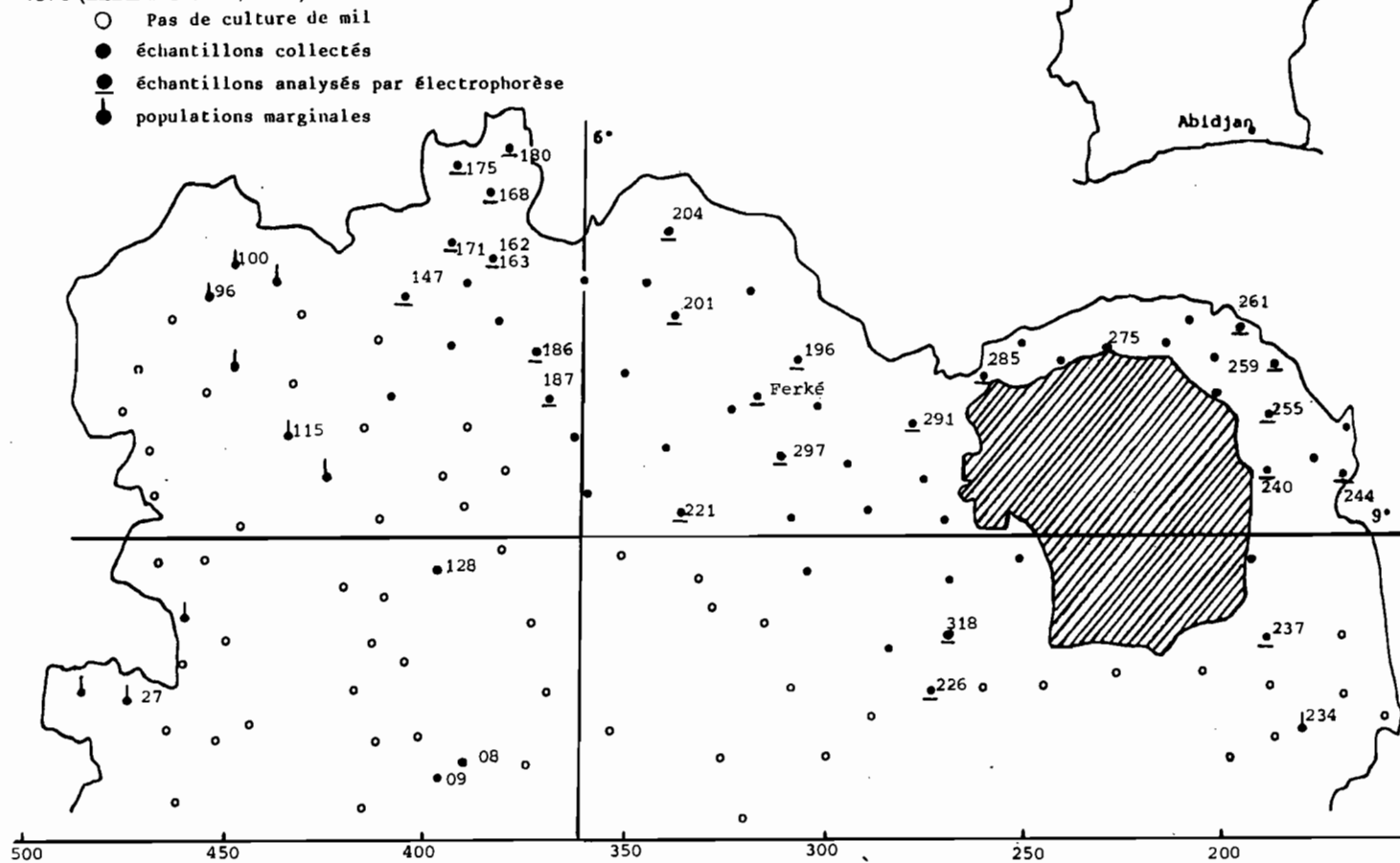
La localisation des variétés échantillonnées est donnée (fig. 36). Les polymorphismes enzymatiques pour l'ADH et le PGM ne concernant que quelques-uns des échantillons sont donnés dans le tableau 36. La Fig. 37 décrit pour un ensemble plus important de ces populations, la relation entre longitude et la fréquence des allèles ADH_s et PGM_s respectivement. Le polymorphisme pour ces isozymes paraît très bien structuré en fonction de la position géographique. On peut calculer un coefficient de corrélation canonique entre les composantes longitude/latitude d'une part et fréquence ADH/PGM d'autre part et celui-ci est remarquablement élevé R = 0.88.

L'observation des plantes de ces échantillons cultivés, dans les mêmes conditions expérimentales, montre que des gradients morphologiques analogues peuvent être observés pour des caractères tels que la précocité, la forme et la dimension des épis, la hauteur des plantes, la résistance au *Sclérospora* (downy mildew) (BRAC DE LA PERRIERE, 1982). Cette situation est remarquable à plusieurs titres :

1. Malgré la variabilité interne très ouverte dans toutes les variétés, et malgré les échanges géniques très importants d'une population d'un champ à l'autre (pollinisation) ou d'un paysan à l'autre (marché des semences), l'organisation géographique globale est très nette.

2. Certains aspects écologiques pourraient faire rechercher une interprétation adaptative à ce cline, par exemple les données de la pluviométrie

Figure 36 : Localisation des variétés de Mil prospectées en Nord Côte d'Ivoire en avril 1978 (LEBLANC et al., 1983).



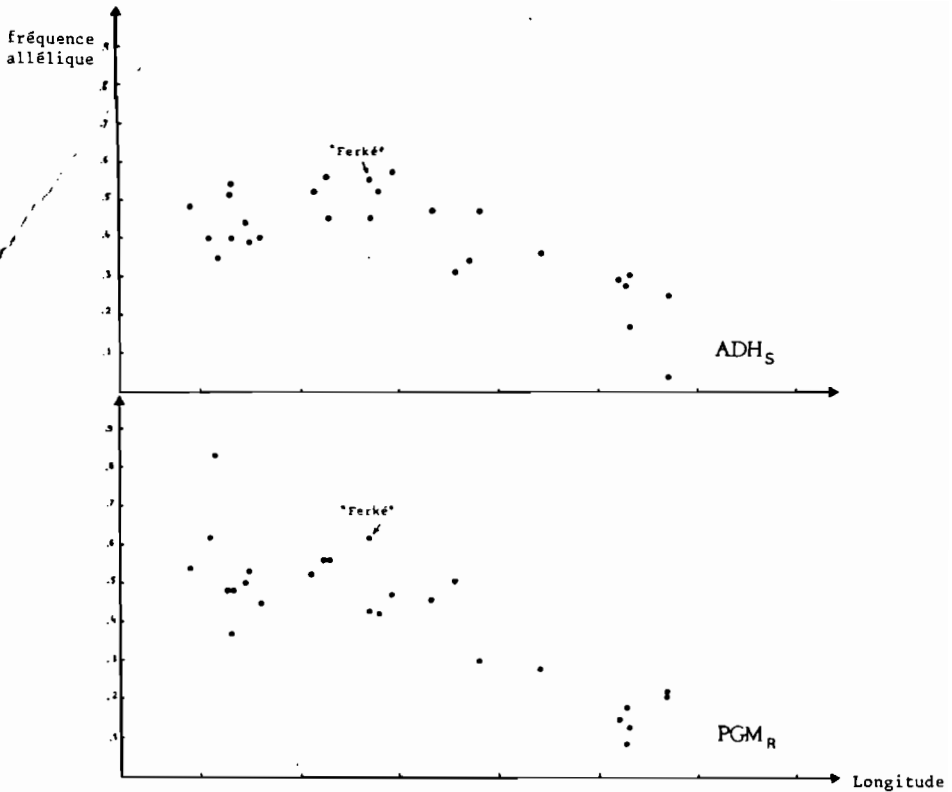


Figure 37: Fréquences alléliques mesurées sur les graines en relation avec la longitude (LEBLANC, 1982). La longitude est exprimée en minutes ouest.

reportées au Tableau 36, mais la multiplicité des aspects morphologiques et biochimiques de ce cline est surprenante.

3. L'histoire de la culture du mil et de l'occupation de la Côte d'Ivoire par des ethnies différentes pourraient aisément être responsables de ce cline. Dans cette diversité organisée des populations du nord Côte d'Ivoire à l'Est, les ethnies voltaïques et ghanéennes ont pu introduire des variétés d'un type morphologiques et de structure génétique différents de celles introduites par les groupes Malinké venus de l'Ouest et du Nord Ouest. Ce cline observé pourrait être alors le résultat des échanges progressifs de proche en proche entre populations voisines à partir des 2 pôles que constituent les types variétaux initiaux bien différenciés.

4. Quelle que soit l'interprétation de ce cline, la mise en évidence de la diversité des caractères sur laquelle il est construit permet de préconiser une organisation de la conservation des mils au nord Côte d'Ivoire sous forme de plusieurs populations réservoirs (3 ou 4) regroupant dans des zones différentes du cline les variétés qui le constituent. En particulier il serait aberrant de vouloir refondre toutes ces populations, dont la diversité paraît si bien organisée, en un seul réservoir central; il serait aussi catastrophique de constituer des collections de lignées par autofécondation car on perdrait toute la signification de la structure en populations.

B. QUELQUES DONNÉES SUR LES ÉCHANGES GÉNÉRIQUES ENTRE LES FORMES SPONTANÉES ET CULTIVÉES

1. Données aux champs et enquêtes

On observe fréquemment, dans les champs traditionnels, les formes *stenostachyum* (intermédiaires entre cultivées et sauvages). Le comportement des cultivateurs vis-à-vis d'elles est très varié: certains les arrachent le plus tôt possible, dès qu'ils les distinguent (bien avant la floraison parfois), d'autres ne les arrachent qu'après les avoir reconnus à la floraison, d'autres enfin tentent d'y récolter quelques graines, malgré leur égrenage spontané très fort, dont ils considèrent qu'ils constituent un complément alimentaire utile.

Plus les conditions climatiques sont limitées (sécheresse particulièrement), plus les cultivateurs avisés semblent répugner à leur élimination précoce (certains les appellent: «Le père du mil»; d'autres: «Tout petit mil semé par Dieu»).

Dans ces zones, les cultivateurs traditionnels experts les connaissent parfaitement et les dénomment: N'douls, chibras, et distinguent même certaines gradations dans leurs degrés de ressemblance avec les formes cultivées.

Dans ces mêmes zones, les cultivateurs, même s'ils ont des préférences pour les grains clairs, refusent d'éliminer de leur semence les chandelles bien remplies, porteuses de grains rouge foncé (les oiseaux épargnent de leurs attaques les chandelles à grains rouges quand le type de grains dominant dans le champ est clair). Ils ne veulent pas «tenter la chance» ou plutôt la défier par des exigences de pureté excessive pour leur variété. La tolérance vis-à-vis du polymorphisme est remarquable dans les champs de mil.

Autour des champs, ou dans leur voisinage (1 km est une distance d'interpollinisation effective pour le mil), les formes sauvages ont une floraison généralement très étalée et seulement partiellement synchronisée avec celle des cultivars. A Bambey (Sénégal), ils fleurissent en moyenne plus tard que les Souna (précoces) et plus tôt que les Sanio (tardifs); ils sont susceptibles de constituer un «pont reproductif» entre les deux formes cultivées dont les floraisons sont entre elles plus franchement disjointes.

2. Quelques données de l'hybridation entre la forme *mollissimum* des *monodii* et quelques lignées cultivées(*americanum*).

Les hybrides de première génération, obtenus par pollinisation contrôlée en serres (Phytotron, Gif-sur-Yvette), sont parfaitement fertiles et vigoureux, et de type *stenostachyum*, parfaitement comparables aux N'douls ob-

servés spontanément dans les champs. Les caractéristiques morphologiques très typiques de la différenciation des formes cultivées et des formes sauvages sont consignées dans le tableau 37.

Les analyses en correspondance de toute une série de familles de première génération révèlent nettement leur aspect uniformément intermédiaire et moins divers les uns des autres que les formes cultivées dont elles sont issues (fig. 38).

L'étude des familles F2 montre que certaines plantes ont un développement anormal (la moitié d'entre elles pour la famille issue de la lignée « Massue ») et ne peuvent arriver à la floraison. Une légère barrière reproductive, par désorganisation en F2, peut donc ainsi se manifester.

Cependant, les ségrégations de matériel paraissent très compatibles avec des hypothèses mendéliennes simples, les groupes de linkage semblant robustes et assez peu nombreux. En particulier, les caractéristiques de l'épillet, très typique du « syndrome de domestication » (absence de soies et d'enveloppes, « autocompatibilité », non égrenage spontané), ségrègent assez facilement en bloc.

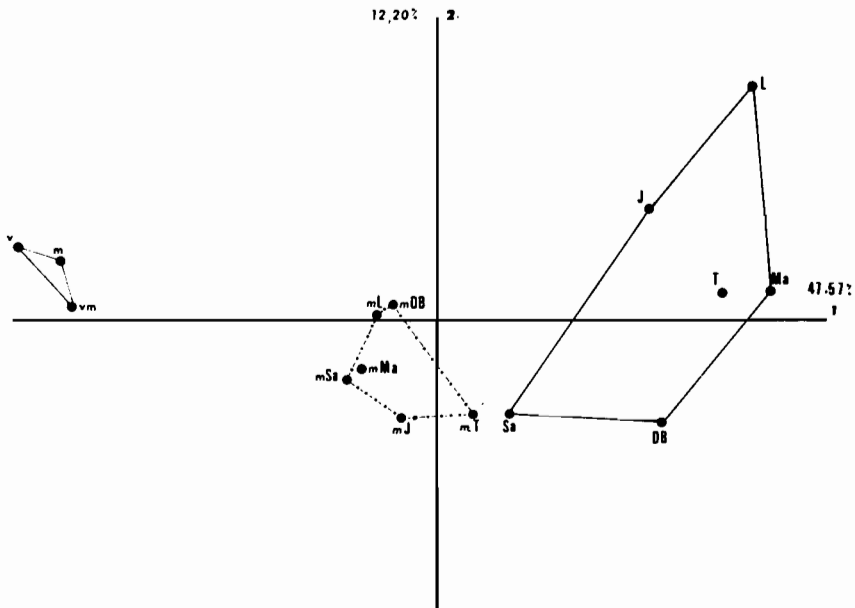


Figure 38 : Graphique donnant la disposition des points médians représentatifs des différents génotypes dans une analyse des correspondances portant sur l'ensemble caractères quantitatifs plus caractères qualitatifs.

TABLEAU 37

Différenciation entre forme cultivée et forme sauvage chez le mil

	Syndrome spontané	Syndrome cultivé
Tallage	Précoce, abondant et non limité	tardif, modéré ou nul
Rythme d'émission foliaire	lent	rapide
Drapeau, dernière feuille avant la chandelle	étroit	large
Pédoncule de la chandelle	Très fin	large
Poids de 100 grains	faible	élevé (gros grains)
Grains	vêtus, ovoïdes, non colorés (jaune clair)	nus, de forme plus ou moins pyramidale, souvent colorés (gris, bleutés, marrons)
Epillets	sessiles, avec de nombreuses soies dont une plus longue que les autres	pédicillés, avec des soies peu abondantes

Un autre groupe de caractères semble aussi très cohérent : celui caractéristique du comportement floral (induction par la photopériode : cf. paragraphe suivant).

Ainsi, les nuages des points d'une descendance F2 conduisent assez facilement à recouvrir les points représentatifs des parents, tant sauvages que cultivés, pour les ségrégations concernant ces groupes de caractères (figure 39). L'étude de marqueurs enzymatiques (SANDMEIER et al., 1982) montre que les descendance des croisements sauvage \times cultivé ségrégent avec une bonne régularité mendélienne.

Une donnée très remarquable concerne les résultats de croisements en retour (cultivé \times spontané) \times cultivé. Ils font apparaître, en forte proportion, des plantes vigoureuses dont l'aspect est entièrement de type cultivé : des plantes que le paysan soigneux choisirait de préférence pour constituer sa semence !

L'analyse génétique de certains des caractères qui opposent l'épi de la forme cultivée à celui de la forme sauvage a été plus précisément réalisée dans le cas de l'hybride Massue \times Mollissimum, et plusieurs gènes importants paraissent regroupés sur un même secteur chromosomique comme le montre la figure 40 (REY HERME, 1982). Par le même auteur, la descendance des formes spontanées N'Doul morphologiquement analogues à l'hybride F1 sauvage \times cultivé, récolté dans plusieurs variétés traditionnelles, démontre :

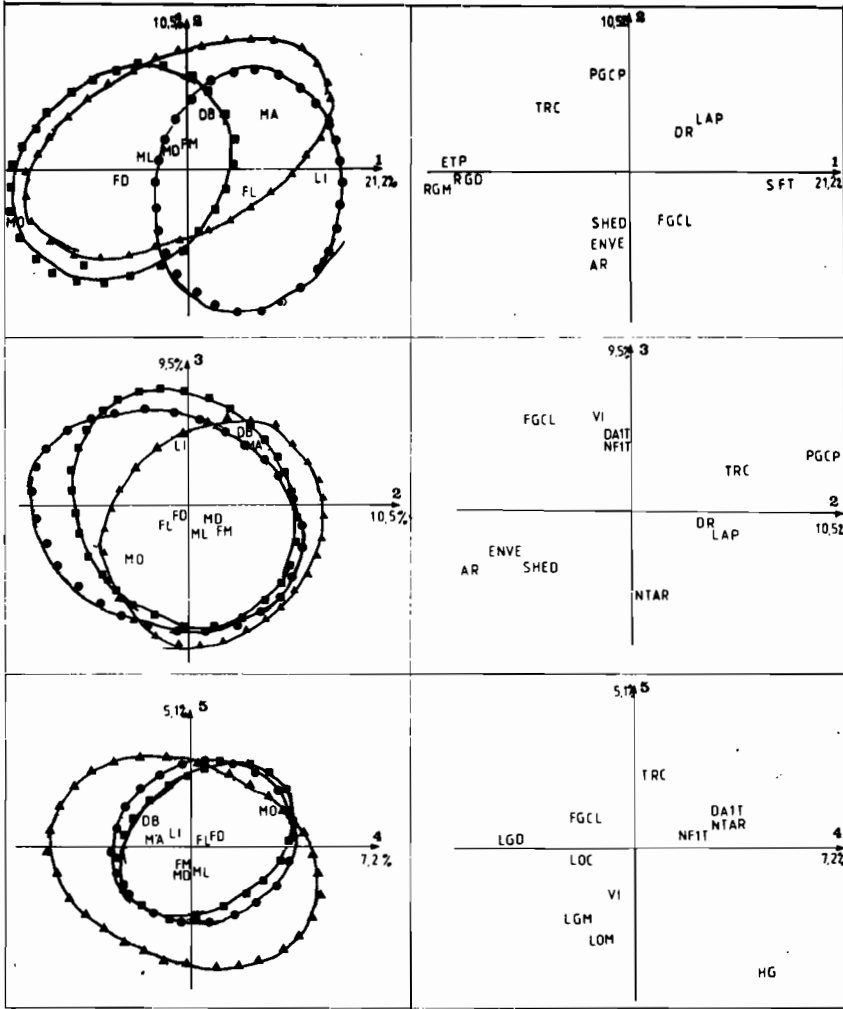


Figure 39: Représentation sur le plan des axes 1,2 (fig. 1.a) et 2,3 (fig. 1.b) et 4,5 (fig. 1.c) des 3 familles F2, dans une analyse de correspondances simultanées où les parents et F1 sont projetés en variables supplémentaires.

Codes des familles (colonne de gauche): MO = *P. mollissimum*; LI = LIGUI; DB = 23DB; MA = MASSUE; ML = F1 *molli* × LIGUI; MD = F1 *molli* × 23DB; ● = FL = F2 *molli* × LIGUI; ■ = FD = F2 *molli* × 23DB; ▲ = FM = *molli* × MASSUE.

Codes caractères (colonne de droite)

RGM: rang de la plus grande feuille; RGD rang du drapeau (dernière feuille);

ETP: date d'épiaison de la talle principale;

SFT: écart entre les dates de floraison de la première et de la deuxième talle.

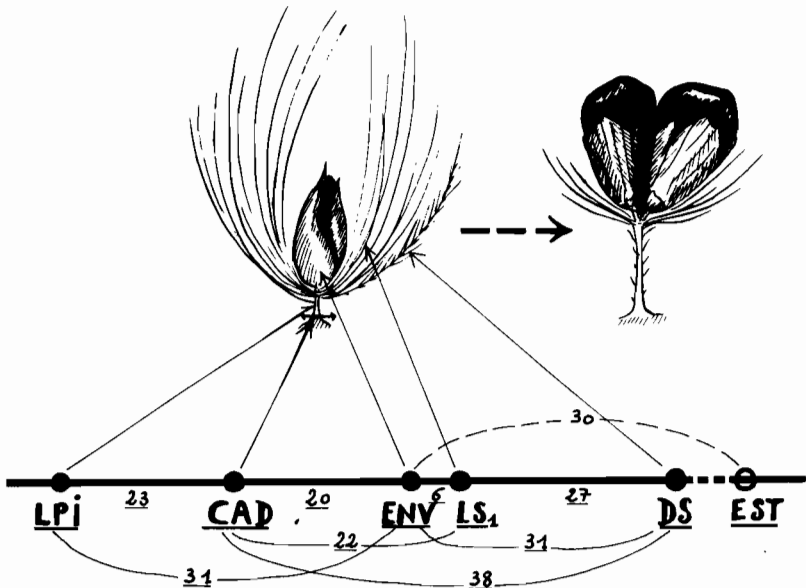
La combinaison de ces 4 variables sur l'axe 1 est une bonne indication de la sensibilité des plantes à la photopériode.

AR: présence de soies; ENVE enveloppes longues;

SHED caducité des épillets;

(suite de la légende p. 190)

- PGCP: poids de grains de la chandelle principale en autofécondation.
Ces 4 variables telles qu'elles sont caractérisées dans l'axe 2 définissent assez bien l'opposition des structures d'épi des formes sauvages et cultivées.
- DR: diamètre du rachis; LAP largeur du pédoncule;
TRC taux de remplissage de la chandelle;
- FGCL: forme du grain (opposition ovoïde, type sauvage aux différentes formes des types cultivés); VI vitiosité;
- HG: hauteur du grain
Cette série de caractères contribue à préciser l'opposition des phénotypes cultivés aux phénotypes sauvages pour les aspects de l'appareil reproducteur.
- NTAR: tallage aérien; DA1T date d'apparition de la première talle;
NF1T: nombre de feuilles lors de l'apparition de la première talle;
La combinaison de ces 3 caractères telle qu'elle est représentée pour l'axe 3 décrit assez bien l'opposition de l'organisation du tallage entre formes spontanées et cultivées.
- LOC: longueur de la chandelle; LGM largeur de la plus grande feuille;
LOM longueur de la plus grande feuille.



- LPI Pédicelle de l'involucre
CAD caducité de l'épillet à maturité
ENV Enveloppement de la graine
LS Soies
DS Soies

- Allèles Dominants → Récessifs
Court → Long
Présent → Absent
Important → Réduit
Longues → Courtes
Plumeuses → Glabres

Figure 40: DOMESTICATION – Hérité des modifications des structures de l'épillet.

Dans ce schéma, nous avons figuré l'existence de l'estérase E_1 (EST) que Beninga (1981) avait située à une trentaine d'unités de l'aristation.

1. qu'il y a bien des échanges géniques importants entre ces formes N'Douls et les variétés cultivées,

2. que ces formes N'Douls sont fortement hétérozygotes pour les gènes contrôlant les caractéristiques de domestication,

3. que parmi leurs descendances on peut effectivement trouver des formes soit de types complètement sauvage, soit de type complètement cultivé.

Tout ceci démontre que les échanges géniques ont ainsi régulièrement lieu entre les populations sauvages et les populations cultivées. D'autre part on voit que les formes *stenostachyum* évoquées dans l'introduction ne sont pas du tout des formes taxonomiquement stables méritant le statut de sous-espèces que leur attribue BRUNKEN.

D'autre part, l'étude d'hybrides sauvage × cultivé constitués sur cytoplasme sauvage et les rétrocroisements avec parent récurrent soit sauvage, soit cultivé, en gardant toujours l'origine cytoplasmique sauvage a permis à MARCHAIS et PERNES (1983) d'obtenir plusieurs résultats complémentaires importants :

a) une même mise en évidence de cette cohésion et de cette simplicité des contrôles héréditaires de l'aspect cultivé par rapport à l'aspect sauvage,

b) comment dans les structures de rétrocroisements la récupération du type parent récurrent est, là encore, accélérée par l'existence de distorsions de ségrégation. La distorsion favorise la fréquence des allèles de type cultivé dans les descendances où le parent récurrent était parent cultivé et le cytoplasme cultivé, mais pas si le cytoplasme est sauvage.

c) En utilisant la forme cultivée Tiotandé (variété de décrue du Nord Sénégal) par rétrocroisements successifs MARCHAIS a créé en cytoplasme sauvage, une lignée isogénique mâle stérile cytoplasmique de Tiotandé.

d) L'étude de marqueurs de 5 systèmes de stérilités mâles cytoplasmiques a suggéré que les formes sauvages, quelles que soient leurs origines sembleraient toutes en possession de gènes de restauration de fertilité pour toutes les stérilités mâles cytoplasmiques étudiées.

Ces travaux préliminaires sur la domestication sont riches de conséquences pour l'importance des formes sauvages dans la gestion des ressources génétiques et l'amélioration du mil.

Les formes sauvages possèdent des propriétés génétiques du plus haut intérêt. 1. On vient de le voir, ce sont des sources importantes à la fois pour créer des nouvelles formes mâles stériles et pour trouver des gènes de restauration de fertilité; 2. l'analyse des protéines de réserves de graines montre que leur teneur en protéine de réserve est plus élevée que chez les formes cultivées; 3. l'étude de l'organisation du type de photosynthèse C4 des formes cultivées et des formes sauvages semble montrer des différences structurelles au niveau cellulaire et des activités enzymatiques plus élevées chez les formes sauvages que chez les formes cultivées, ce qui mériterait d'être étudié plus en détail pour leurs conséquences agronomiques (SARDA, 1982; LAVERGNE et al., 1979; NGAMBI et al., 1981); 4. partout où la sélection du mil conduit à la création de variétés nouvelles complètement isolées des formes sauvages il serait indispensable de s'assurer l'accès et le maintien à des caractéristiques héréditaires adaptatives

que ces formes ont accumulées depuis qu'elles ont colonisé (bien antérieurement à leur domestication) des milieux sahéliens et subarides.

3. Contrôle des interpollinisations entre formes sauvages et cultivées par la sensibilité photopériodique pour la floraison

Les études réalisées au phytotron (BELLIARD et PERNES, 1977, 1979, 1983), sur des formes cultivées, permettent de proposer un schéma assez simple rendant compte des aspects majeurs de la réponse florale du mil en fonction de la longueur du jour (PERNES et BELLIARD, 1979).

Le mil est généralement une plante de jour court préférante ou même absolue. De très rares lignées sont neutres ou insensibles.

On peut schématiser le contrôle génétique majeur de la sensibilité à la photopériode à l'aide du modèle décrit ci-dessous (fig. 41) issu de l'expérimentation sur des lignées cultivées.

L'utilisation de 2 lignées pures de Mil (*Pennisetum typhoideum*), l'une (23DB) sensible à la longueur du jour pour le déclenchement de sa floraison, l'autre (Ligui) complètement neutre ou insensible pour ce déclenchement, a montré qu'elles différaient par l'état allélique d'un seul gène *li*. L'allèle *l* dominant est responsable de l'insensibilité.

L'étude en conditions phytotronées des délais de floraison suivant les différentes longueurs du jour donne les courbes représentées dans la figure 42. L'hybride F_1 a la situation très particulière suivante: le profil de réponse pour les jours courts est de type 23DB, et pour les jours longs une courbe de type Ligui mais sensiblement plus tardif.

L'analyse des nombres de jours passés en jours courts nécessaires pour obtenir une expression complète de la floraison chez 23DB (fig. 43 et 44) met en évidence un aspect très qualitatif et cumulatif de l'induction. La véritable irréversibilité d'une induction florale suffisante n'est réalisée qu'après plus de 8 jours courts. Dès 3 jours courts, l'irréversibilité $V \rightarrow F$ est déjà acquise mais aboutit à la mortification de l'apex (insuffisant pour une structure florale complète).

Ainsi l'analyse précise de ce comportement conduit aux bases suivantes dont le modèle devra rendre compte:

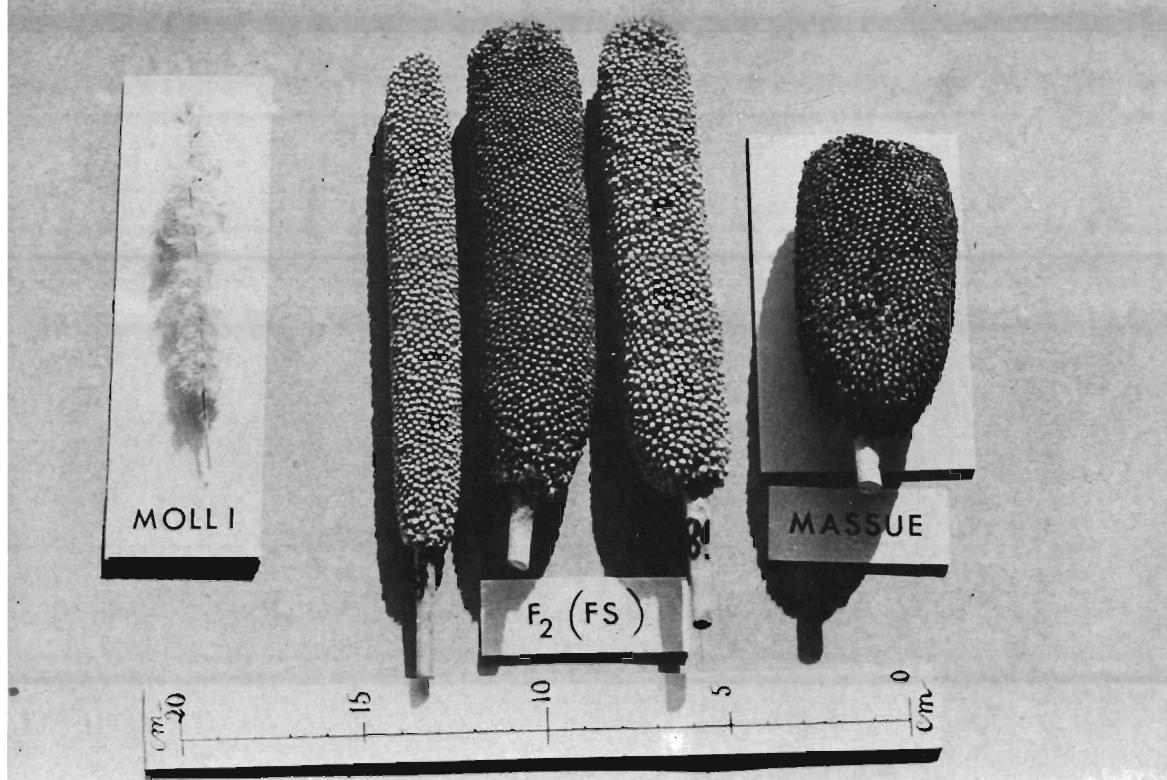
- système 1 locus: 2 allèles, *l* dominant pour l'insensibilité (aspect qualitatif de réponse oui-non, sensible-insensible).
- expression quantitative à 2 niveaux: délai de floraison chez 23DB, fonction de la longueur du jour, et phénomène d'induction cumulative.
- structure des courbes de réponse F_1 .

PROPRIÉTÉ DU SYSTÈME GÉNIQUE *li* (Point d'articulation pour la bifurcation V/F)

Le modèle proposé figure 41 met en place un locus *l* déterminé par l'analyse mendélienne en suggérant que l'allèle *l* est du type constitutif et que le gène est un point d'articulation entre la lecture quantitative de la longueur du jour (en amont de lui) et un contrôle quantitatif d'une substance devant s'accumuler et responsable, par exemple, d'un flux de divisions cellulaires (en aval).



Champ de mil cultivé en Tanzanie



3 épis d'aspect cultivé de plantes appartenant à la descendance F_2 issue de l'hybride F_1 , *Pennisetum americanum* (var *Massue*) \times *P. Mollissimum*

épillets disséminés de l'espèce spontanée *Pennisetum mollissimum*



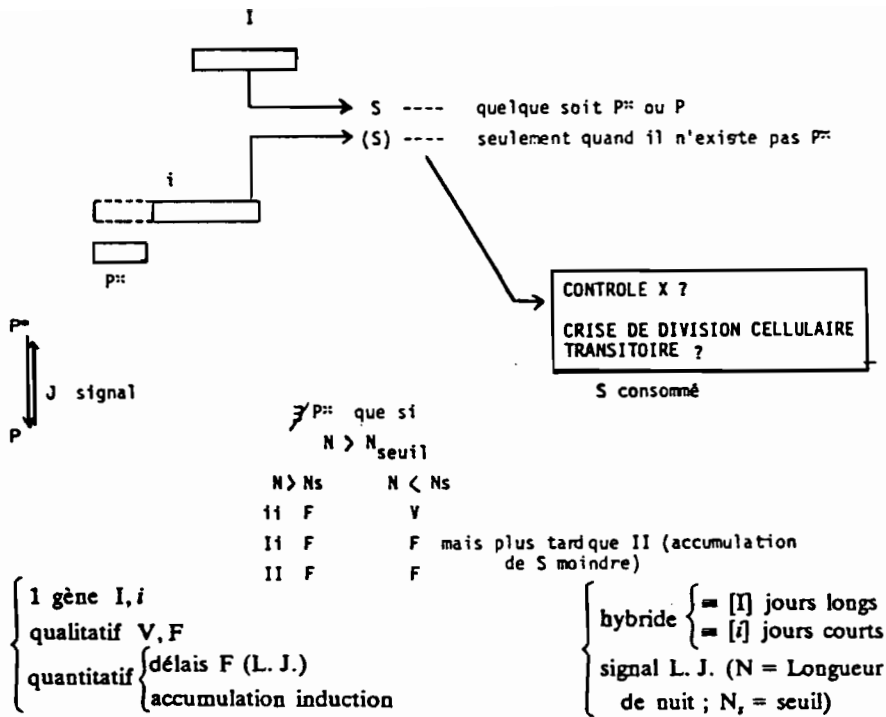


Figure 41 : Modèle du contrôle génétique de la sensibilité à la photopériode.

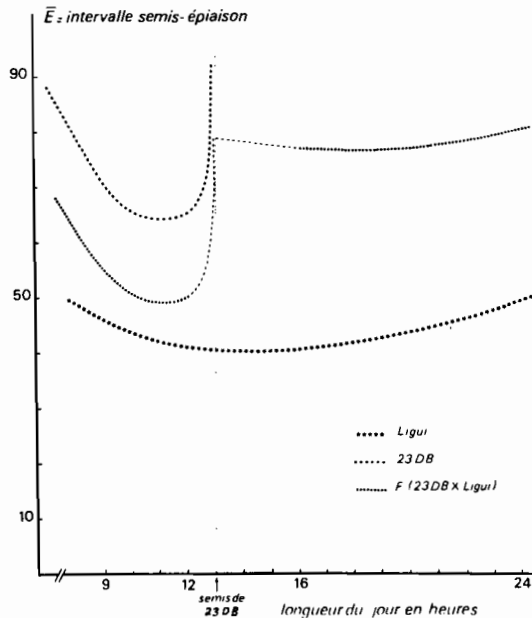


Figure 42 : Délai de floraison, en fonction de la longueur du jour de deux lignées et de leur hybride.

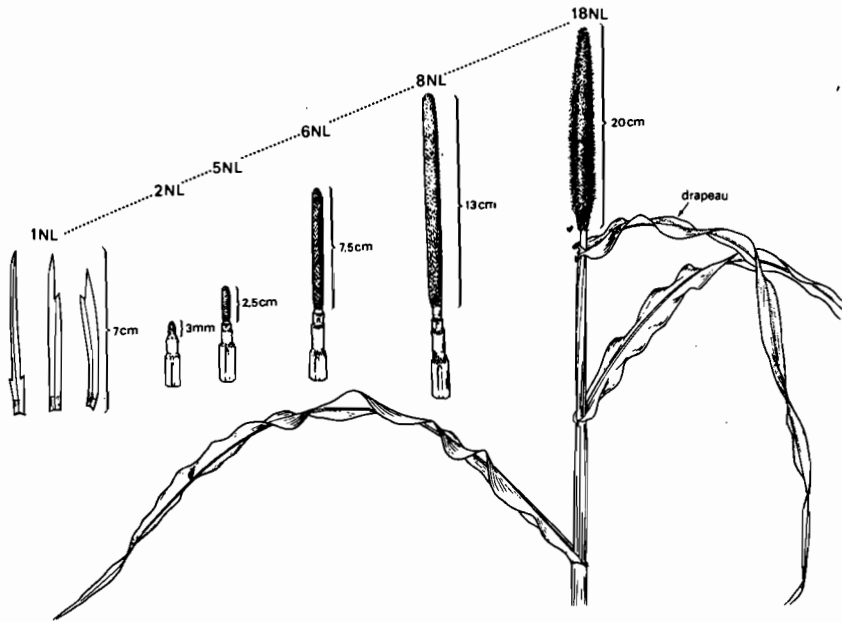


Figure 43 : Morphogenèse florale perturbée après des séries de jours courts (NL) en nombres variables.

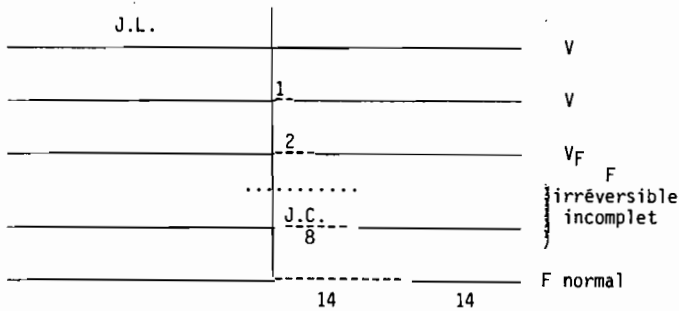


Figure 44 : Schéma expérimental ayant permis les évolutions rapportées fig. 43. Phase initiale de culture en jours longs ——— J.L. - - - - - J.C.

L'opposition globale « sensible » (préférant ou absolu) « insensible » (neutre) semble être contrôlée par un (ou deux) gènes majeurs; les degrés de sensibilité semblent être modulés par une gamme variée de modificateurs. L'existence de ce contrôle ingénieux et simple de l'ensemble du système, joint à un polymorphisme des variétés traditionnelles pour les modificateurs, conduit à des variétés qui peuvent être décalées pour leur floraison (opposition Souna/Sanio, sauvage/cultivé), par les gènes du système majeur, tout en ayant une certaine plasticité des précocités à l'intérieur de la catégorie précoce (Souna par exemple) ou tardive (Sanio).

Ainsi, les dates de floraison sont modulables dans chaque groupe (« précoce », « tardif », « sauvage »), tout en conduisant à des descendance (F_2 ou rétrocroisements) des hybrides N'douls occasionnels entre groupes (sauvage/précoce; sauvage/tardif) qui réintègrent facilement l'une ou l'autre des catégories de départ, sans création ou accumulation d'une classe importante d'intermédiaires qui effacerait progressivement l'organisation, discontinuée dans le temps mais sympatrique, des variétés précoces ou tardives.

Ce contrôle rigoureux et simple des dates de floraison autorise des flux de gènes limités dans le trio précoce-sauvage-cultivé (trois compartiments sympatriques du complexe); la vigilance du paysan (choix des semences sur phénotype domestiqué et vigoureux) entretient cette communication sans briser les types variétaux de base.

CONCLUSION: APPORT DE CES DONNÉES PRÉLIMINAIRES DANS L'ÉVALUATION POUR ORGANISER LA CONSERVATION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES DU MIL

Les problèmes de conservation seront évoqués théoriquement et pratiquement dans les chapitres I et II, partie II. L'exemple du mil permet de les aborder concrètement.

L'entretien des collections par conservation en chambre froide ne permet pas au matériel végétal stocké de suivre l'évolution du milieu. En moins de 10 ans, le polymorphisme des modificateurs de précocité a permis aux Souna de la région de Bambey (Sénégal) un raccourcissement du cycle (intervalle semis/récolte) d'environ 10 jours, ajustement remarquable à la récente série d'années sèches au Sahel!

L'entretien par croisements contrôlés en collection agronomiquement très protégée ne permet pas aux équilibres polymorphes adaptatifs de se maintenir (exemple des ADH); les systèmes d'endogamie plus simples, sans la vigilance des paysans, conduit à la désorganisation du type variétal (accumulation de N'douls, polymorphisme de la structure d'épi entre autres).

Les N'douls, dans les zones limites de la culture, paraissent très importants pour transférer, des sauvages aux cultivés, certaines adaptations aux conditions difficiles; pourtant, les formes sauvages ne font pas partie des systèmes endogames (ni même des larges réservoirs de masse) de conservation des formes cultivées.

Il est légitime de penser que la conservation dynamique des Ressources Génétiques des mils impose l'organisation de stations de conservation où seront reproduits (ou simulés), en de vastes réservoirs polymorphes les flux de gènes sauvages vers cultivés et la vigilance paysanne conservatrice des types.

Les paramètres indispensables à la constitution fonctionnelle d'un tel réseau de stations ne seront acquis que par des travaux d'évaluation offrant une bonne classification des formes cultivées, et même une connaissance précise de l'organisation polymorphe des populations cultivées, de la domestication, et des couplages entre formes spontanées et formes cultivées de précocités variées.

BIBLIOGRAPHIE MIL

- BELLIARD J., NGUYEN VAN E. et PERNES J., 1980. Analyse des relations génétiques entre formes spontanées et cultivées chez le mil à chandelles. I. Etude des parents et des hybrides de première génération (F1) entre un écotype de *Pennisetum mollissimum* Hochst (forme spontanée) et différentes formes cultivées de *P. americanum* (L.) Leeke. Ann. Amélior. Plantes 30, 3: 229-251.
- BELLIARD H. et PERNES J., 1977. Etude de l'organisation génétique et Physiologique d'une barrière reproductive particulière chez le Mil: contrôle photopériodique de la floraison. Physiol. Vég., 15, 3: 551-565.
- BELLIARD J. et PERNES J., 1980. Analysing a gene which controls one flowering step. In: La Physiologie de la floraison. Colloques Internationaux du CNRS n° 285: 228-232.
- BELLIARD et PERNES, 1983. Chapter on flowering In: Halevy et al., AP (sous presse).
- BRAC DE LA PERRIERE R., 1982. Contribution à l'évaluation, la conservation et le développement du mil (*P. typhoides* Brum Staff et Hubb) de Côte d'Ivoire. Thèse de 3ème Cycle, Orsay.
- BRUNKEN J.N., 1977. A systematic study of *Pennisetum* sect. *Pennisetum* (*gramineæ*). Amer. J. Bot., 64, 2: 161-176.
- CLEMENT J. et al. 1979. Rapports et missions (non publiés).
- CLEMENT J. Jr., 1979. Plasmon mutations in cytoplasmic male-sterile pearl millet, *Pennisetum typhoides*. Genetics 79: 583-588.
- HUTCHINSON J. et DALZIEL J.M., 1931. Flora of west tropical Africa. Vol. II, Part. 1: The Crown Agents for the Colonies.
- LAVERGNE D., BISMUTH E., SARDA C., and CHAMPIGNY M.L., 1979. Physiological studies on two cultivars of *Pennisetum*: *P. americanum* 23DB, a cultivated species and *P. mollissimum*, a wild species. II. Effects of leaf age on biochemical characteristics and activities of the enzymes associated with the photosynthetic carbon metabolism. Zeits. Pflanzenphysiol., 93, 2: 159-170.
- LEBLANC J.M., 1978. Etudes sur le système des alcool-déshydrogénases du mil: *Pennisetum typhoideum* (*americanum*). Thèse de 3ème cycle, Orsay.
- LEBLANC J.M. and PERNES J., 1983. Enzyme polymorphism of *Pennisetum americanum* in Ivory Coast. Japan. J. Genetics (sous presse).
- MARCHAIS L., PERNES J., Genetie divergence between wild and cultivated pearl millets (*Pennisetum typhoides*). I. male sterility (soumis à Theor. Appl. Genet).
- MUNSON P.J., 1976. Archaeological data on the origins of cultivation in the southwestern Sahara and their implications for west Africa. In: Origins of African plant domestication, J.R Harlan, J.M. de West, A.B.L. Stemler, ed. Mouton.
- NGAMBI J.M., BELLIARD J., CHAMPIGNY M.L., 1981. Effets de la nutrition nitrique sur les premiers stades de la croissance et sur la capacité nitrate réductase de 2 mils, *Pennisetum americanum*, *Pennisetum mollissimum* et de leur hybride *P. mollissimum* × *P. americanum*. Physiol. Vég. 19, 2: 135-144.

- PERNES J. et BELLIARD J., 1979. Mise en évidence d'un point d'articulation important dans le contrôle photopériodique de la floraison du mil. In: Elaboration et justification des modèles. Applications en Biologie. Maloine ed. 313-322.
- PERNES J., NGUYEN VAN E., BENINGA M. et BELLIARD J., 1980. Analyse des relations génétiques entre formes spontanées et cultivées chez le mil à chandelle (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke, *P. mollissimum* Hochst). II. Etude de 3 familles F2 issues d'hybrides entre une plante d'un écotype de *P. mollissimum* Hochst et 3 lignées de cultivé *P. americanum* (L.) Leeke. Ann. Amélior. Plantes 30, 3: 253-269.
- PORTERES R., 1976. African cereals: Eleusine, Fonio, Black fonio, Teff, Brachiaria, Paspalum, Pennisetum and African rice. In: origins of African Plant domestication. J.R. Harlan, J.M. de Wet, A.B.L. Stemler, ed. Mouton: 409-452.
- REY HERME C., 1982. Les relations génétiques entre les formes spontanées et les formes cultivées chez le mil (*Pennisetum* sp). Thèse de 3ème cycle, Orsay.
- SANDMEIER M., BENINGA M., PERNES J., 1981. Analyse des relations entre formes spontanées et cultivées chez le mil à chandelles. III. Etude de l'hérédité des estérases et des peroxydases anodiques. Agronomie, 1, 6: 487-494.
- SARDA C., 1982. Etude histologique et cytologique de la feuille f4 de deux mils, *Pennisetum mollissimum* (Hochst), forme spontanée *Pennisetum americanum* (L.) Leeke, forme cultivée et de leurs hybrides réciproques. Analyse biométrique: recherches de tests morphophysiologiques de criblage. Thèse de 3ème cycle, Orsay.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Alcantara et al. : 7
Asker: 37

Bardenas et Chang: 117
Bauhini: 164
Belliard et Pernès: 192
Beninga: 190
Berthaud: 87, 90, 99
Berthaud et Berthou: 96, 98
Berthaud et Guillaumet: 63
Berthaud et Pernès: 77
Berthaud et al.: 58, 71, 78, 79, 85
Berthou: 82, 83, 84, 91
Berthou et al.: 76, 77, 83, 84, 85
Bettencourt et Carvalho: 93, 95
Bezançon: 149
Bezançon et al.: 109
Boeken: 113
Bouharmont: 50
Brac de La Perrière: 183
Bridson: 71
Brunken: 159, 160, 191

Capot: 56, 87
Carpentier: 107
Carvalho et Monaco: 50, 52
Chang: 110, 136, 137, 138, 148
Chang et al.: 152
Charrier: 48, 50, 51, 52, 53, 88, 90, 91
Charrier et Berthaud: 68, 96, 97
Chaume: 23
Chevalier: 45, 48, 49, 51, 52, 107, 113, 117, 168
Chou: 154
Chu, Morishima et Oka: 117, 148
Chu et Oka: 115, 151
Clayton: 111, 114
Clément et al.: 174
Clusius: 164
Combes: 8, 11, 13, 30
Combes et Pernès: 14, 32
Couturon: 64, 75
Cramer: 56, 58, 91

De Wet: 37
Diday: 23
Diehl: 92
Dublin: 56

Faden et Faden 69
Flor 93
Furusato 116

Guillaumet et Halle 58
Goujon 92, 94, 95
Grassias 86

Harlan 170
Harlan et al 35
Henry 113
Hirschfeldt 49
Hutchinson et Dalziel 46, 164, 168

Ibn Batouta 107

Kihara 111
King et Ohta 139
Krug et al 57
Krug et Carvalho 52

Lamarck 45
Lanaud 86 89
Lavergne et al 191
Leblanc 180, 185
Leblanc et al 184
Lebrun 45, 47, 49
Lemordant 52
Leon 107
Le Pierre 74
Leroy 45 46 48 49 50 91
Linden 54
Linne 45
Louarn 51 68, 80, 81, 86, 87

Marchais et Pernes 191
Marshall et Brown 65
Mayne 92
Mendes 90
Miquel 49
Monaco et Carvalho 87
Monaco et Medina 50
Morishima 111, 117, 136
Mott 7
Munson 169, 171

Narayan 33
Nayar 138
Nei 145
Ngambi et al 191
Nogler 37
Noronha et al 93

Oka 111, 136, 148, 151
Oka et Chang 154
Oka et Morishima 137

Payne et Fair Brother 55
Pelissier 117
Pernes 17, 22, 28, 29, 35
Pernes et Belliard 192
Pernes et Combes 10
Pernes et al 17, 27, 34, 37
Porteres 45, 51, 54, 61, 107, 108, 110, 114, 117, 118, 131 161, 162, 163,
164, 165
Purseglove 47, 54

Rey Herme 188
Reynier 80
Richaria 138
Rodriguez et al 96
Roschevictz 117

Saccas 95
Sampath 138
Sandmeier et al 188
Sarda 191
Savidan 31, 33, 34, 36
Savidan et Pernes 35, 36
Second 145, 146
Second et Trouslot 139, 141, 142
Serrao et al 7
Sisjon et al 86
Souciet 17
Stebbins 33, 37, 112

Tateoka 110, 117
Thomas 91
Trouslot et Second 139

Van der Vossen 75
Van der Vossen et al 96

Walyard et Van der Vossen 75, 87
Warmke 7, 30, 33
Wellman 52

INDEX DES TERMES SCIENTIFIQUES

- ADN mitochondrial 85
- aire de culture 110, 169
 - de repartition 50, 52, 61, 107, 124, 176
 - de repartition discontinue 64
 - de repartition en mosaïque 64
 - de repartition en réseau 61
 - de repartition linéaire 63
 - d'origine V centre d'origine
- albumen 8
- allele 180, 192
 - état allélique 143, 192
 - fréquence allélique 183
- allogame 28, 52, 56, 66, 88, 90, 111, 112, 124, 130, 136, 151, 152
- allogamie
 - préférentielle 161
 - taux 52, 57
- allosyndese 97, 99
- amélioration 94
 - stratégie 28
- analyse
 - des nuées dynamiques de Diday 23
 - des structures de populations 24
 - de variance hiérarchisée 86, 88
 - en composantes principales 34, 76, 84, 179
 - factorielle des correspondances 17, 22, 28, 89, 143, 145, 186, 190
 - multivariée 17
- anthracnose
 - des baies 68
 - des feuilles 68
 - résistance 55, 96
- antipode 33
- apomictique 12, 16, 30, 39
 - naturel 33, 39
- apomixie 7 8, 30, 33, 37
 - facultative 8, 33
 - quasi obligatoire 8, 29 33
- apospore 8, 29, 33 35
- appariement chromosomique 111, 148, 149
- aptitude à la combinaison
 - générale 57
 - spécifique 57
 - test 86
- asyndese
 - taux 97, 99
- autofécondation 36, 94, 118, 149, 151, 179
- autogame 52, 56, 66, 111 112, 115, 118, 124, 131, 140, 142, 153
- autogamie 152

- back-cross 36, 116, 149, 150, 151, 152, 159, 188
- bactérie 68

bande d'électrophorèse: 88, 92
 barrière reproductive: 112, 135-153, 161, 186
 bivalent: 37, 94, 95, 97
 borer: 68
 bouturage: 66
 microbouturage: 99
 bouture: 68, 75, 130, 131
 reprise: 15
 taux de reprise: 66
 brassage génétique: 37, 53, 58, 99, 123

caféine
 absence: 59
 teneur: 55, 57, 71, 99
 cellule somatique: 7, 8, 33
 centre
 de dispersion: 51
 de diversité: 137, 168
 d'origine: 57, 107, 110, 169
 certation: 149
 champignon: 68
 chlorose: 78, 99
 chromosome
 association chromosomique (VA appariement): 94, 96, 97, 98
 nombre chromosomique: 9
 réarrangement chromosomique: 149
 clonage: 56
 pureté clonale: 16
 cochenille: 68
 colchicine (VA doublement du nombre chromosomique): 25, 33, 38
 collection: 15-17, 73-76
 de conservation: 78
 de graines: 16
 de mutants: 56
 d'espèces: 56
 d'étude: 74
 de variétés sélectionnées: 58
 échange: 75
 mise en collection: 56, 73
 mise en place: 73
 conservation:
 de la variabilité: 79
 des graines: 178
 des ressources génétiques: 178
 du bois de greffe: 80
 du pollen: 79
 criblage
 des diploïdes: 12
 des hybrides: 39
 croisements (VA hybridation, VA back-cross)
 interspécifique: 52, 93
 programme: 56, 98

taux de réussite: 54, 93, 95, 97, 150
 cytogénétique: 29-32
 cytoplasme
 stérilité cytoplasmique: 150

 dendrogramme: 84, 85, 143
 dérive: 169, 178
 descendance
 d'apomictique: 30
 d'hybride: 31
 descripteur: 17, 18, 19
 déterminisme génétique: 35
 diallèle de groupes: 38
 dimère: 140, 180
 dimérisation: 140
 diploïde: 9, 12, 88
 diploïdisation: 99
 distance génétique: 31, 89, 91, 143
 de Nei: 143
 diversité: 9, 22, 28, 84, 85, 98, 122, 152, 162
 centre: 7
 description: 17-24
 domestication (VA mise en culture): 107, 111, 112, 134, 147, 148, 152, 169
 dormance: 113, 136
 levée: 15, 17

 échange
 de collection: 79
 de matériel végétal: 39, 58
 génique: 28, 31, 52, 186
 échantillon: 70
 conservation: 178, 179
 échantillonnage: 14, 63, 125, 135, 171
 biais: 131
 électromorphe (VA isozyme): 89, 139, 142, 144
 électrophorèse: 82, 139
 embryon: 8, 33
 culture: 17
 enzyme: 88
 de restriction: 93
 polymorphisme enzymatique: 183
 profil enzymatique: 89
 système enzymatique: 88, 89, 139
 alcool déshydrogénase: 180-183, 193
 estérase: 89, 90, 137, 139, 146
 malate déshydrogénase: 89
 peroxydase: 137, 139
 phosphatase acide: 89, 90, 137, 139
 phospho-glucomutase: 175, 183
 phospho-glucose isomérase: 139-142
 érosion génétique: 15, 179
 essais agronomiques: 39-40

- de comportement multilocaux: 39
- état de charge: 142
- évaluation: 17-37, 76-98, 135-153, 179-195
 - agronomique hiérarchisée: 23
- fécondation: 7, 8
 - autofécondation: 33, 94, 179
 - libre: 95
- fertilité
 - femelle: 94
 - male: 93
- gamète: 32, 35
- gamétophyte: 7
 - stérilité gamétophytique: 149
- gène de régulation de la synapsis: 98
 - de résistance: 99
 - de restauration gamétophytique: 150
 - de restauration sporophytique: 150
 - de virulence: 99
 - dominants complémentaires: 148
 - dominants complémentaires semi léthaux: 149
 - échanges géniques (VA transfert): 151, 152, 159, 174, 193
 - léthaux: 149
 - récessifs complémentaires: 150
 - séquence génique: 89
 - stérilité génique: 150
 - système génique: 194
- géniteur: 57, 65, 79, 94, 95, 99
- génom: 25, 52, 99, 111, 149
- graines
 - conservation: 16, 193
 - germination: 16, 65, 94
 - pouvoir germinatif: 151, 178
 - stockage: 66, 67
 - test de germination: 169, 178
- greffage: 56, 69, 77
- greffe
 - bois de greffe: 66
 - porte greffe: 78
- habitat: 9, 24, 60, 111, 112, 115, 136, 153
- haploïde
 - dihaploïde: 31, 37, 99
 - polyhaploïde: 37
- haploïdisation: 32, 37
- herbier: 8, 61, 63, 70, 71, 74, 117, 124, 130
- hétérozygotie: 56, 131, 135, 182
- hexaploïde: 9, 29
- hors-type: 8
 - hexaploïde: 29
 - taux: 29, 31, 33
- hybridation (VA croisement): 7, 31, 78, 186

cycle: 40
interspécifique: 28, 99, 116
naturelle: 58, 115, 151, 159, 162
hybride: 116
 interspécifique: 27, 96, 98, 99
 intraspécifique: 99
incompatibilité
 autoincompatibilité: 33, 112, 152
 de développement: 25
 interspécifique: 93
indice de proximité: 77
introduction: 7, 9, 15, 17, 23, 107, 108, 136, 168
introgression: 132, 137, 138, 142, 144, 151, 152
isozyme (VA électromorphe, VA bande d'électrophorèse)
 test de thermosensibilité: 142, 144

marqueur: 57
méiose: 37
 comportement méiotique: 94, 95, 99
métaphase: 97
mise en culture (VA domestication): 52, 107
mode de reproduction: 33, 52, 131, 136, 147, 152
modèle de génétique des populations: 28
multiplication végétative: 56, 70, 99, 112, 136, 152

nématode: 68
niveau
 d'agressivité: 99
 de ploïdie (VA nombre chromosomique): 30, 51, 86
 de signification: 88
 de tolérance: 99
nombre chromosomique: 29, 30, 162
noyau polaire: 7, 8
nucelle: 8

obake (forme): 116
oosphère: 7, 8, 29, 33, 38
origine: 86
 centre: 161, 168, 169

parasite
 race: 99
 test d'inoculation: 99
parthénogénèse: 33
pentaploïde: 7, 9, 29
phénotype: 9, 11, 12, 23, 28
phylogénie: 135-153
placentation cofféenne: 45, 46, 60
pollen: 33
 cellule mère des grains: 94, 95, 97
 communauté pollinique: 64
 échanges polliniques: 64

- viabilité: 93, 151
- pollinisation: 8, 35, 172
 - interpollinisation: 179, 186, 192
- polymorphisme: 142, 183
 - enzymatique: 139-148
- polyploïdisation: 32
 - série polyploïde: 32
- population
 - en extension: 64
 - en extinction: 64
 - hexaploïde: 29
 - monomorphe: 9, 12, 14, 29
 - naturelle: 26, 29, 127
 - polymorphe: 12, 14
 - tétraploïde: 13
- pourridié: 68
- pouvoir
 - de germination des graines: 178
- pression de sélection: 113, 118
- programme
 - d'amélioration: 47, 50, 58
 - de sélection: 58
- production: 40, 82, 85
 - capacité: 55
 - cycle: 65
 - régularité: 55
- prospection: 8-15, 58-73, 122-135, 170-178
 - bilan: 72, 173
 - continue: 9
 - itinéraire: 9, 70
 - rapport: 67, 133
 - schéma: 63
 - stratégie: 60, 61, 99
- pyriculariose: 115

- quarantaine: 66
 - mise en quarantaine: 66-67

- recroisement: V back-cross
- régénération périodique: 15
- régime de reproduction: V mode de reproduction
- retrocroisement: V back-cross
- résistance
 - aux maladies: 58, 91, 121, 152
 - horizontale: 96
 - test: 60, 96
 - verticale: 96
- ressources génétiques:
 - conservation: 195
- rouille: 45, 60, 93
 - résistance: 55, 91-98

sac embryonnaire: 7, 8, 34, 37, 151
 schéma
 d'amélioration: 34, 38, 39
 de sélection: 37, 38
 ségrégation: 36, 93, 121, 170, 181 critères: 55
 généalogique: 56
 méthode: 56
 sexualité: 28, 37
 taux: 12, 31, 34, 37
 transitoire: 28
 sporophyte
 stérilité sporophytique: 150
 stérilité: 31, 149
 synergide: 8, 33
 système
 de reproduction: V mode de reproduction
 enzymatique: V enzyme

 taxon: 51, 52, 138
 taxonomie numérique: 137, 145
 méthode: 136, 139, 143
 tétraploïde: 7, 13, 29, 31, 110, 140
 apomictique: 25, 28, 38
 autotétraploïde: 38, 99
 néotétraploïde digénique: 25
 sexué: 25, 29, 33, 38, 39
 tétraploïdie
 allotétraploïdie: 111
 tétraploïdisation: 37
 trachéomycose: 52, 56
 transfert
 de gènes: 64, 139, 194
 de matériel végétal: 58, 68
 triploïde: 29, 35, 94, 97
 trivalent: 97

 univalent: 97

 variabilité
 enzymatique: 99
 génétique: 9, 12, 76, 135-153, 159
 interpopulation: 124, 130, 143
 intrapopulation: 66, 124, 130, 143
 morphologique: 52
 nœud de variabilité: 61
 variable qualitative: 81
 virus (grassy stunt virus): 135
 vulgarisation: 39, 108, 123

 zygote: 148
 zymogramme: 89, 99, 139, 140, 141, 142, 147, 181

INDEX VEGETAUX

Afroparacoffea, 49
Arabusta, 87, 99
Argocoffea, 45, 46

Bothriochloa-Dichantium, 35, 37
Brachiaria ruziziensis, 39

caféier (complexe multispécifique), 43 à 104

Caféier de la Nana, 83

Calycosiphonia, 45, 46

Canephoroides, 50, 99

Cercospora Coffeicola, 66, 67

Coffea (genre), 43 à 104

C. arabica L., 45 à 104

C. brevipes, 47, 49

C. buxifolia, 62

C. canephora, 45, 47, 49, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 61, 63, 72, 74, 82, 83, 85, 87, 89, 91, 95, 96, 97, 98, 99

C. carissoi, 47, 49

C. congensis, 47, 49, 50, 51, 54, 56, 58, 60, 61, 62, 74, 82, 83, 85, 87, 91, 96

C. dewevrei, 52

C. eugenioïdes, 47, 49, 50, 51, 54, 58, 61, 62, 68, 69, 70, 71, 73, 82, 85, 89, 90, 91, 97, 98

C. humilis, 47, 49, 54, 61, 74

C. ind, 69

C. kapakata, 49, 50

C. kivuensis, 47, 49

C. klainii, 47, 49

C. liberica, 47, 49, 51, 54, 55, 56, 58, 60, 61, 62, 72, 74, 82, 85, 87, 89, 95, 96, 98, 99

C. ligustroïdes, 47, 49, 50

C. mauritiana, 45

C. mayombensis, 49

C. melanocarpa, 47

C. mufidiensis, 47, 49

C. oyernensis, 47, 49

C. racemosa, 47, 49, 50, 51, 73

C. robusta, 54, 99

C. salvatrix, 47, 49

C. schumanniana, 47, 49

C. stenophylla, 47, 49, 50, 51, 52, 54, 56, 63, 96, 98

C. togoensis, 47, 49

C. zanguebariæ, 47, 49, 50, 51, 58, 69, 70, 73

Colletotrichum coffeanum, 66, 67, 91, 96

C. coffeanum var. *virulens*, 66

C. gloeosporoïdes, 66

Erythrocoffea, 47, 48, 49, 50, 88

Eucalyptus, 63

Eucoffea, 47, 48, 49, 52, 58, 88, 89

Fusarium sp., 66

F. equiseti, 66

F. stilboïdes, 66

F. xylarioïdes, 66

glaberrima (complexe), 48

Hemileia coffeicola, 66

H. vastatrix, 66, 67, 92, 94, 95

herbe de Guinée, 7

Insulanoparacoffea, 49

Latifolia (complexe), 111

Leersia (genre), 110, 112, 115

L. hexandra, 115

L. nematostachya, 115

L. perrieri, 115

L. tisserantii, 115

Libericæ, 49

Liberio-excelsoïdes, 50

Mascarocoffea, 47, 48, 51, 52, 58, 72, 88, 89, 90, 97

Melanocoffea, 47, 48, 49, 52

Melanoparacoffea, 49

Melinis minutiflora, 39

Mil: 157 à 197

Ba Angouré, 177

Bazaome, 178

Boudouma, 177

Guerguea-Fassama, 178

Hâini-Kiré, 178

J 472, 181

Iniadi, 181

J. 104, 181

Kolala, 178

Ligui, 181, 192

Maewa-Somma, 177, 181

Massue, 181, 187, 189

Niet, 178

de l'Oasis de l'Iferouane, 181

Sanio, 175, 176, 181, 194

Sidi-Daoud, 181

Souna, 175, 181, 194

Tifton 23DB, 181

Tifton 239DB, 181

Tiotandé, 176, 181, 191

Zanfaroua, 178

Zarzis, 181

Zongo, 177
mils pénicillaires (complexe des), 164
Mozambicoffea, 47, 48, 49, 50, 58, 68

Nanocoffea, 47, 48, 49

Officinalis (complexe), 111
Oryza (genre), 105 à 156
O. augustifolia, 115
O. barthii, 111, 114
O. brachyantha, 115, 119, 129
O. breviligulata, 111 à 154
O. eichingeri, 115, 119, 129
O. glaberrima, 107 à 154
O. glaberrima groupe *nigerica*, 107
O. glaberrima groupe *senegambica*, 107
O. glaberrima subsp. *confusa*, 117
O. longistaminata, 111 à 153
O. nivara, 111, 136
O. perennis, 111, 136, 137, 138, 140, 142, 144, 148, 149, 150
O. perrieri, 112
O. punctata, 115, 119, 129
O. rufipogon, 111
O. sativa, 107 à 154
O. sativa type *indica*, 137, 138, 142, 148, 154
O. sativa type *japonica*, 138, 143, 148, 154
O. sativa type *javanica*, 137, 138, 154
O. sativa type *sinica*, 138
O. spontanea, 111
O. stapfii, 111, 117, 138, 145, 147
O. tisserantii, 112

Pachycoffea, 47, 48, 49, 52, 88
Panicum caeruleum, 164
P. indicum, 164
P. infestum, 12, 14, 25, 27, 28, 29, 31
P. maximum, 5 à 42
P. trichocladum, 12, 27
Paracoffea (genre), 45, 46, 47, 49, 91
P. bengalensis, 47
P. humbertii, 47
Pennisetum (genre), 33, 157 à 197
P. albicauda, 163, 165
P. americanum, 159, 160, 161, 170, 186
P. americanum sesquipetale, 164
P. ancylochaete, 163, 167, 169
P. barberi, 166
P. cinereum, 161, 162, 168, 169
P. dalzielii, 166, 168
P. darfuricum, 168
P. echinurus, 163, 165

P. rogeri, 166, 168
P. sampsonii, 167, 168
P. sclerocladum, 167, 168
P. spicatum, 163, 165
P. stenostachyum, 159, 160, 161, 166, 168, 170, 186, 191
P. typhoides, 159, 164, 165
P. typhoideum, 192
P. violaceum, 159, 166, 168
P. vulpinum, 163, 164
Podocarpus, 64
Porteresia (genre), 110
Potentilla argentea, 37
Psilanthopsis (genre), 45, 46, 49, 51
Psilanthopsis kapataka, 47, 52
Psilanthus (genre), 45, 46, 49, 91
Psilanthus manii, 49

Ranunculus auricomus, 37
Rhynchoryza (genre), 110
Robusta, 49, 99
rubiacée, 45, 59, 60

sativa (complexe spécifique), 110, 117
Stylosanthes guyanensis, 39



**agence de coopération
culturelle et technique**

13, quai André Citroën 75015 Paris

ISBN tome 1 92-9028-044-1