

ACTES DU COLLOQUE

“GESTION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES DES PLANTES EN AFRIQUE DES SAVANES”

BAMAKO - MALI

24 - 28 FÉVRIER 1997



ACTES DU COLLOQUE

“GESTION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES DES PLANTES EN AFRIQUE DES SAVANES”

BAMAKO - MALI
24 - 28 FÉVRIER 1997



I.E.R.

Institut d'Economie Rurale
BP 258
Bamako
Mali



Bureau des Ressources
Génétiques
16 rue Claude Bernard
75231 Paris cedex 01
France



Solidarités Agricoles et
Alimentaires
3191 route de Mende
34033 Montpellier cedex 1
France

AVEC LE CONCOURS DES ORGANISMES SUIVANTS :

ACCT - Agence de coopération Culturelle et Technique

AUPELF-UREF - Association des Universités des réseaux d'Expression Française
Brot für die Welt

CIRAD - Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le
développement, France

CNRS - Centre National de la Recherche Scientifique, France

CTA - Centre Technique de Coopération Agricole

Développement à la coopération de Berne, Suisse

FPH - Fondation pour le Progrès de l'Homme

IFS - Fondation Internationale pour la Science

IUBS - International Union of Biological Sciences

Ministère de l'Agriculture, Mali

Ministère chargé de la Recherche, France

Ministères de la Coopération, France

ORSTOM - Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en
Coopération, France

Périscope Production

TWAS - Third World Academy of Sciences

UNESCO

USC Canada

SOMMAIRE

INTRODUCTION	p.	1
SESSION 1 - Savoir-faire et pratiques paysannes	p.	13
• L'appropriation d'un savoir-faire agricole : la kumba dans le Nord-Yatenga (Burkina Faso) - MAIZI P.	p.	15
• The importance of plants in the livelihoods of rural villagers: a case study of the Tswapon Hills, Botswana - ROBINSON S. <i>ET AL.</i>	p.	29
• Conserver des plantes « qui ont de l'utilité » (Pays Hausa, Niger) - LUXEREAU A.	p.	39
• La domestication des ignames (<i>Dioscorea cayenensis-rotundata</i>) chez l'ethnie Bariba du Bénin - DUMONT R. <i>ET AL.</i>	p.	47
• Les ressources phytogénétiques des savanes du Zaïre méridional - LUBINI C.A.	p.	55
• Aspects socio-économiques et culturels liés à la conservation et l'aménagement des ressources génétiques de <i>Parkia biglobosa</i> en Afrique de l' Ouest - OUEDRAOGO A.S.	p.	63
• Diversité phénologique des sorghos du Mali et adaptation à la diversité des agro-systèmes : mise en valeur d'un savoir - OUATTARA M. <i>ET AL.</i>	p.	73
• Gender differentiated management of local crop genetic resources in Bafoulabe cercle, Kayes region of Mali: a case study - SYNNEVAG G.	p.	85
SESSION 2 - Conservation des ressources génétiques en relation avec leur utilisation	p.	93
• Strategies for conservation of genetic resources in relation with their utilization - BERTHAUD J.	p.	95
• Caractérisation du sorgho pluvial (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench.) de la zone soudanienne du Tchad - YAGOUA N.D.	p.	111
• Gestion des ressources génétiques des ignames africaines et conservation <i>in situ</i> - ZOUNDIHEKPON J. <i>ET AL.</i>	p.	121
• Diversité et conservation des mils des savanes nord-guinéennes : cas de la Côte d'Ivoire - BENINGA M.B.	p.	129
• Les variétés traditionnelles de mil en Afrique sahélienne : facteurs de stabilité et de variation - CLEMENT J.C.	p.	133
• Ressources génétiques et développement de la riziculture dans le Nord Mali - BEZANÇON G. <i>ET AL.</i>	p.	143
• Exploitation des ressources génétiques des espèces maraîchères tropicales et de l'oignon (<i>Allium cepa</i> L.) - SECK A.	p.	161
• Valorisation des échalotes en Côte d'Ivoire - DAVID O. <i>ET AL.</i>	p.	173
SESSION 3 - Analyse des flux de gènes	p.	183
• Etude des principaux facteurs pour la préservation <i>in situ</i> d'une espèce à allogamie partielle : cas de la légumineuse alimentaire <i>Phaseolus lunatus</i> L. - BAUDOUIN J.P. <i>ET AL.</i>	p.	185
• Organisation et gestion de la diversité génétique de <i>Faidherbia albida</i> - ZEH-NLO	p.	195

M. *ET AL.*

- Flux de gènes entre formes domestiquée et sauvage du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) en conditions expérimentales au Sahel - RENNO J.F. *ET AL.* p. 203
- Application des marqueurs moléculaires et de la cartographie génétique à l'utilisation et à la conservation des ressources génétiques de l'espèce africaine de riz cultivé, *Oryza glaberrima* Steud. - NDJONDJOP M.N. *ET AL.* p. 211
- Influence des pratiques culturelles sur l'évolution de la fréquence des hybrides chibra dans un champ de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) au Sahel - COUTURON E. *ET AL.* p. 221

SESSION 4 - Caractérisation génétique de la diversité

- Structure génétique et dynamique des variétés traditionnelles de sorgho au Burkina Faso - OLLITRAULT P. *ET AL.* p. 229
- Organisation génétique des sorghos cultivés : une structuration panafricaine de la diversité, - CHANTEREAU J. *ET AL.* p. 231
- Gestion des cultivars locaux de maïs par les paysans du Burkina Faso - SANOU J. *ET AL.* p. 241
- La domestication du niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. - PASQUET R. *ET AL.* p. 249
- Etude des formes spontanées et cultivées d'*Hedysarum coronarium* L. : analyse morphologique, enzymatique et moléculaire - TRIFI-FARAH N. p. 261

FORUM

- Les efforts de conservation *in* et *ex situ* des populations de Douentza et de leurs partenaires ONG USC-Canada, GUAMINA, ARAFED - FOFANA M. p. 275
- Keeping diversity alive: SoS/E's experience - WOREDE M. p. 277
- De la nécessité d'associer les populations rurales dans la gestion des ressources génétiques des plantes - TCHALA W. p. 281
- Study of maize varieties and seed sources in a traditional community in Mexico - LOUETTE D. p. 291
- Strategies for the conservation and use of neglected and under-utilized crops in the African savannah: Fonio and bambara groundnut - EYZAGUIRRE P. *ET AL.* p. 301
- Integrated organisation of institutional and local crop development as a system to maintain and stimulate the utilisation of agro-biodiversity at the farm level - DE BOEF W.S. *ET AL.* p. 315
- Of farmers realities and international abstractions - MARTINEZ A.R. p. 323
- The Global Plan of Action for the conservation and sustainable use of plant genetic resources for food and agriculture - COOPER H.D. *ET AL.* p. 331
- The development of *sui-generis* legislation on plant genetic resources - The Zimbabwean experience - MUSHITA T.A. p. 335
- Les enjeux des négociations en cours sur les ressources phytogénétiques - CHAUVET M. *ET AL.* p. 343
-

INTRODUCTION

Du 24 au 28 février s'est tenu à Bamako au Mali un colloque scientifique suivi d'un forum-débat sur le thème de la gestion des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes. Ces deux manifestations étaient organisées par l'Institut d'Economie Rurale (IER) de Bamako, le BRG et SOLAGRAL, et ont regroupé 200 personnes pour la semaine (122 Africains, 33 Français dont 7 coopérants en Afrique, 7 membres de l'Union Européenne, des représentants d'autres pays et de diverses organisations internationales). Ces manifestations avaient été précédées par une école thématique sur le même thème, coordonnée par le CNRS (17 au 23 février) et regroupant 40 jeunes chercheurs africains.

Les diverses manifestations ont été soutenues financièrement par les Ministères français de la Coopération et de la Recherche, le Ministère de l'Agriculture du Mali, ACCT, AUP ELF-UREF, CIRAD, ORSTOM, CNRS, CTA, BRG, IER, IFS, IUBS, SOLAGRAL, TWAS, UNESCO, USC Canada, Brot für die Welt, Développement à la coopération (Berne, CH), Fondation pour le Progrès de l'Homme, Périscopes Production.

Le colloque scientifique s'est déroulé sur deux jours et demi et a été centré sur quatre thématiques :

- Les savoir-faire et les pratiques paysannes.
- La conservation des ressources génétiques en relation avec leur utilisation.
- L'analyse des flux de gènes.
- La caractérisation génétique de la diversité.

Une quarantaine de communications de bon niveau, diverses tant au plan des modèles biologiques étudiés que des approches engagées, ont été présentées. De nombreuses questions ont été débattues dans toutes les sessions, résultant certainement de la formation acquise par certains à l'école thématique précédant le colloque. L'association « Ecole thématique » « colloque » est apparue très dynamisante et mérite d'être reproduite à l'avenir. Des demandes informelles ont déjà été faites dans ce sens sur les thèmes « ressources génétiques forestières en zone tropicale humide » et « biotechnologies ».

Le forum avait pour objectif de faire dialoguer différents acteurs des pratiques scientifique, politique et sociale pour une gestion intégrée des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes. Il s'est déroulé sur deux jours autour de tables rondes animées par des organisations non gouvernementales et des associations paysannes, sur les thèmes suivants :

- Expériences de gestion *in situ*.
- Gestion participative des ressources génétiques.
- Accès aux ressources génétiques et droits de propriété.
- Relations entre les institutions de recherche, les organismes internationaux et le secteur privé.

De nombreux participants ont pu s'exprimer sur les sujets traités et donner une idée de la façon dont ceux-ci étaient ressentis et abordés par les différents acteurs : chercheurs, semenciers, ONG, associations paysannes, agriculteurs. Ce type d'échange a été privilégié dans les différentes tables rondes.

SYNTHESE ET PRINCIPALES CONCLUSIONS DU COLLOQUE SCIENTIFIQUE

Savoir-faire et pratiques paysannes

Les communications présentées lors de cette session ont permis d'identifier les questions de diversité et de conservation des ressources comme deux pôles de stratégies humaines possibles, inaliénables et indissociables. Elles ont souligné le besoin d'un dialogue permanent entre acteurs locaux et recherche publique.

Les ressources végétales peuvent être soumises à plusieurs usages simultanés qu'il est toujours pertinent de recenser : consommation alimentaire, échanges, symboles de pouvoirs, utilisation médicale... Les pratiques identifiables autour des diverses ressources disponibles sur un espace sont indissociables de leurs représentations spécifiques : les logiques paysannes se comprennent donc au travers d'une analyse des articulations entre pratiques et représentations. La capacité des sociétés à modifier l'aménagement de leur espace et l'usage des ressources révèlent une maîtrise des savoir-faire et techniques mobilisés pour exploiter la diversité variétale disponible et plus largement pour gérer l'espace ainsi que les risques climatiques ou écologiques.

Les savoir-faire mobilisés pour combiner les ressources variétales ou modifier l'usage des différentes espèces végétales disponibles se concrétisent par des opérations de sélection, de conservation, de diversification des ressources, qui constituent autant de choix raisonnés auxquels sont associés des représentations sociales et symboliques, que la « tradition orale » transmet, reproduit, sans pour autant les fixer dans une « tradition technique » immobile. L'ancienneté des savoir-faire qui régulent certaines techniques de domestication, de sélection, d'entretien, de conservation ou de diversification des espèces végétales sur un type d'espace donné est ancrée dans l'histoire sociale des groupes et de leur espace. Ces savoir-faire sont toujours enrichis, modifiés, sous l'influence de multiples paramètres sociaux, politiques, économiques, technologiques, écologiques...

Les communications ont convergé sur trois orientations méthodologiques :

- La connaissance acquise sur la richesse des savoir-faire mobilisés autour de la gestion des ressources végétales, combinée aux connaissances scientifiques.
- Les recherches pluridisciplinaires associant dans une même dynamique les démarches écologiques, anthropologiques, économiques, génétiques, géographiques et agronomiques.
- Une confrontation des résultats dans l'optique d'aborder la complexité des interactions entre société et environnement.

Mais que disent les sociétés locales face aux projets de plus en plus nombreux qui défendent une meilleure gestion des ressources végétales ? Quelle est leur attitude face à des opérations ou décisions nationales qui définissent des aires protégées, valorisent certains espaces plutôt que d'autres ? Quelles sont leurs revendications économiques, territoriales, politiques ? A ces questions, peu de réponses. Elles engagent pourtant à s'interroger pour savoir dans quelle mesure les recherches et programmes d'action actuels contribuent ou non à promouvoir et à soutenir les acteurs locaux dans des projets qui leur soient propres.

La session a clairement mis en évidence l'étroite liaison entre diversité génétique et actions humaines. La capacité de l'Homme à agir sur ses ressources génétiques selon des choix raisonnés est historique. Les procédures de sélection, par exemple, ne sont pas des formules modernes d'exploitation de l'environnement, mais bien des « tendances techniques » lourdes à l'intérieur desquelles chaque société imprime sa spécificité culturelle. Ces tendances sont définies en fonction de contraintes aussi diverses que l'enclavement, le climat, les dynamiques de peuplement, le niveau technique ou les règles d'accès et d'exploitation des terres.

La biodiversité est un champ du vivant immense où sont mêlées des connaissances sur l'organisation sociale des groupes et sur l'organisation biologique du vivant. Cette optique pluridisciplinaire invite chercheurs et experts à dépasser les traditionnels cloisonnements disciplinaires entre sciences naturalistes et sciences de l'homme.

Conservation des ressources génétiques en relation avec leur utilisation

Les communications présentées au cours de cette session ont montré la diversité des situations biologiques et sociales tant en ce qui concerne l'utilisation que la conservation des ressources génétiques.

La communication introductive a présenté trois modèles liant conservation et utilisation des ressources génétiques, banques de gènes et conservation *in situ*, et proposant une approche dynamique de la conservation des ressources génétiques.

Les autres communications ont traité d'espèces de la zone des savanes (sorgho, ignames, mil, riz, espèces maraîchères et échalotes) :

- L'analyse de la diversité des cultivars de sorgho en Ethiopie et l'importance des savoirs des agriculteurs qui gèrent cette diversité en prenant en compte les formes sauvages apparentées.
- L'évolution des formes cultivées de sorgho au Tchad observée sur une période de 30 ans.
- La conservation *in situ* des ignames par les agriculteurs des zones périphériques des Parcs et réserves naturelles de la région.
- L'analyse de la conservation des mils en Côte d'Ivoire qui a conduit à un constat d'érosion génétique et a montré les difficultés à conserver ces variétés.
- L'étude des variétés locales de mil de la région sahélienne au cours des 20 dernières années qui a montré des modifications dans la répartition des grands types variétaux ainsi qu'un raccourcissement du cycle de culture dans la région à la suite des modifications climatiques, mais sans érosion génétique globale de l'espèce.
- Une expérience de relance de l'utilisation des variétés locales de riz *Oryza glaberrima* dans la région de Tombouctou et de Gao (Mali).
- La mise en place d'un système de production de semences de plantes maraîchères par une société privée en s'appuyant à la fois sur des variétés créées en Europe et des variétés d'origine locale.
- Le projet de promotion de l'échalote en Côte d'Ivoire, fortement concurrencée par l'oignon violet de Galmi importé du Niger.

Il ressort des présentations à cette session que les formes de conservation et d'utilisation des ressources génétiques sont multiples, qu'il existe une évidente complémentarité dans l'utilisation des variétés locales et des variétés sélectionnées, ce que l'expérience de « paysans semenciers » démontre clairement.

A travers les discussions autour des interventions de cette session, on a pu constater que le phénomène d'érosion était souvent présenté comme la raison principale de mise en œuvre des processus de conservation. Il convient donc de conduire une réflexion sur ce phénomène d'érosion génétique, ses origines et son évolution. Une approche scientifique de ce problème doit être menée, car il touche à une question plus générale, en biologie et en sciences sociales, sur les notions de stabilité et d'évolution, d'équilibre et de dynamique. On pourra ainsi contribuer à préciser ce concept et celui de conservation en répondant à la question : faut-il conserver toutes les créations variétales ou faut-il conserver les mécanismes qui ont conduit à la création de ces variétés ?

Analyse des flux de gènes

Les flux de gènes participent à la dynamique des complexes d'espèces aussi bien au niveau intra que inter compartiments. Il s'agit donc d'un niveau d'étude susceptible de fournir des éléments fondamentaux pour construire des schémas et mettre en œuvre des stratégies de conservation et de gestion *in situ* intégrant les questions cognitives d'ordre biologique et ethnoscientifique et les pratiques techniques paysannes.

Après avoir montré les avantages et inconvénients des modes de conservation *in situ* et *ex situ*, la communication introductive a proposé un modèle mixte, le modèle agamique associant un compartiment d'effectif élevé, sans recombinaison et avec conservation des fréquences génotypiques (banque *ex situ*) et de petites populations *in situ* où fonctionne la sexualité. Des flux constants et réciproques entre banques de gènes et populations *in situ* assurent à la fois la conservation de la diversité et une adaptation continue aux changements de milieux extérieurs.

L'analyse de la conservation *in situ* d'une légumineuse alimentaire (*Phaseolus lunatus*) a permis d'illustrer l'apport des études portant sur la structure génétique des populations à la compréhension de la dynamique des flux de gènes, en intégrant les actions anthropiques et environnementales.

L'analyse des paramètres déterminant les flux de gènes chez *Faidherbia albida*, arbre caractéristique des agrosystèmes des zones soudano-sahéliennes, a clairement démontré l'influence des pratiques humaines sur la structuration de la diversité génétique.

L'étude des flux de gènes entre mils sauvages et cultivés a permis d'aborder le problème général du processus de domestication. Les deux exposés présentés sur ce thème ont porté sur la quantification des flux de gènes entre mil sauvage et cultivé et l'étude du devenir des hybrides dans le champ en considérant les pratiques culturelles et les effets de la sélection naturelle.

Les perspectives d'enrichissement de la variabilité génétique disponible aujourd'hui chez *Oryza glaberrima* en introduisant des portions de son génome au sein de l'espèce *O. sativa*, beaucoup plus polymorphe, ont été présentées.

Le maintien et la gestion des flux géniques entre compartiments d'un même complexe conditionnent les potentialités adaptatives des espèces dans le futur. Les différents exposés présentés lors de la session ont clairement souligné le rôle de l'homme et des pratiques paysannes dans l'orientation qualitative et quantitative de ces flux. L'ensemble a fait émerger deux grandes questions :

- La première concerne la compréhension de l'organisation et de l'évolution des complexes d'espèces (méthodologies, biologie des populations, écologie) avec une attention particulière sur les paramètres démographiques et de structuration spatio-temporelle.
- La seconde est centrée sur les relations entre les pratiques humaines, les représentations sociales des ressources génétiques, incluant leur valeur économique, et l'évolution de la diversité génétique des complexes.

Ces deux questions devraient être traitées simultanément, en appréhendant les problèmes de gestion et de conservation *in situ*. Elles mettent en lumière la nécessité d'une approche transdisciplinaire de ces thématiques incluant les domaines biologique et ethnoscientifique.

Caractérisation génétique de la diversité

Cette session a eu pour objet l'étude de l'organisation de la diversité génétique au cours de l'évolution et de la domestication des formes cultivées. Cinq exposés ont été présentés sur quatre plantes cultivées : le sorgho et le niébé, plantes d'origine africaine ; le maïs, plante introduite d'Amérique il y a cinq siècles, et le sainfoin d'Espagne, plante d'origine méditerranéenne.

L'image de l'organisation évolutive des sorghos a été présentée à l'échelle de l'Afrique. On distingue une origine monophylétique en Afrique du centre-est, suivie d'une diversification en races dans trois régions d'Afrique. Un second exposé a abordé la diversité intra et inter-cultivars à l'échelle du Burkina Faso et mis en évidence différents facteurs de son évolution : la circulation de cultivars entre les grandes régions de diversification, le flux de gènes entre cultivars, et les pratiques agricoles notamment au niveau du choix des semences.

Dans le cas du niébé (*Vigna unguiculata*), la zone centre-est d'Afrique semble être ici encore la région de domestication primaire. Les rapports entre formes cultivées et spontanées, déjà décrits dans le cas d'un complexe cultivé-adventice en Afrique de l'Ouest, méritent d'être étudiés de façon approfondie dans les zones de diversité primaire.

L'utilisation des cultivars locaux de maïs par les paysans du Burkina Faso a permis de proposer des éléments de stratégie de conservation *ex situ* sous forme de composites (pools) et *in situ* dans l'agrosystème avec la collaboration des paysans et des sélectionneurs.

Une comparaison des formes cultivées (introduites d'Italie) et de formes spontanées du sainfoin d'Espagne (*Hedysarum coronarium*) en Tunisie révèle une différenciation architecturale au niveau du port entre les deux formes. Par contre, aucune différenciation n'apparaît par le biais des différents types de marqueurs moléculaires testés à ce jour à l'échelle de la Tunisie ; la question d'une réelle différenciation ou celle d'un brassage entre les deux formes reste posée.

D'une façon globale, ces différentes communications aboutissent à une description de la diversité et à

son interprétation. Les outils de caractérisation de la diversité génétique s'enrichissent et permettent d'aborder de façon plus juste les relations entre compartiments. Il en résulte une interprétation globale et l'identification de divers facteurs explicatifs d'ordre biologique et d'ordre anthropique.

Trois messages sont à retenir :

- La diversité génétique doit être abordée au minimum au niveau continental pour pouvoir en saisir la richesse et la dynamique sur l'ensemble de son aire de répartition.
- Les paysans jouent un rôle significatif, voire déterminant, en s'appropriant la gestion *in situ* des cultivars locaux et en influant sur les processus de sélection, immigration et dérive par la sélection empirique (et séculaire) pratiquée pour reproduire ses semences.
- Les connaissances sur la caractérisation génétique de la diversité ont significativement progressé : elles fournissent des informations objectives sur le génome et sur l'analyse de la gestion *in situ* pratiquée par les paysans.

Conclusions générales

Le colloque a choisi de privilégier les approches de gestion *in situ* des ressources phytogénétiques, pour lesquelles les questions méthodologiques et conceptuelles restent très importantes. Il n'en reste pas moins que plusieurs expériences ont clairement souligné l'intérêt d'enrichir ces approches par un apport périodique de semences exogènes (banques *ex situ*). Il est urgent aujourd'hui de dépasser le conflit qui a longtemps opposé les stratégies *in situ* et *ex situ*, qui sont en fait complémentaires dans tout processus de gestion et d'exploitation des ressources phytogénétiques sur le long terme.

Si les progrès des sciences biologiques ont permis de bien décrire la diversité présente au sein des complexes espèces et de mieux comprendre les mécanismes génétiques qui concourent à son évolution dans le temps et dans l'espace, ils doivent cependant être replacés dans un environnement beaucoup plus large intégrant l'action de l'homme tant au niveau de sa construction sociale que de l'établissement des relations économiques entre les acteurs.

Une des conclusions majeures du colloque est d'avoir souligné l'intérêt de monter des projets de recherche alliant sciences biologiques, sciences humaines et sciences sociales autour d'un objectif commun de gestion des ressources génétiques. Une des difficultés pour l'élaboration de tels projets résidera dans le choix d'une échelle temporelle de travail, les pas de temps des anthropologues, sociologues, économistes et biologistes n'étant pas les mêmes et devant être conciliés dans une approche collective.

Dans le contexte de l'Afrique des savanes, des projets de recherche transdisciplinaires devront être élaborés dans le respect d'un certain nombre de contraintes. Ils devront s'inscrire dans un contexte de développement économique des pays concernés, être axés en priorité sur les systèmes agricoles visant à assurer une production vivrière locale ou un marché local, favoriser l'intégration des processus de conservation et d'exploitation des ressources génétiques.

SYNTHESES ET RECOMMANDATIONS DU FORUM

Pourquoi un forum sur la gestion de la diversité génétique ?

Un constat : la fausse querelle de l'in situ et de l'ex situ

La nécessité de conserver la diversité biologique est désormais largement acceptée. Atteindre cet objectif passe en partie par la conservation des variétés *in situ*, c'est-à-dire en champ, sur le lieu même de culture. La gestion *in situ* de la biodiversité apparaît complémentaire de la conservation en collections *ex situ*. Mais la gestion *in situ* ne doit pas se comprendre comme l'instauration d'un système clos de « réserves génétiques ». Au contraire, comme le soulignent aussi les conclusions du colloque scientifique, la gestion de la diversité biologique ne peut être efficace que si la conservation est associée à une utilisation des ressources impliquant la population locale. Cette gestion participative reconnaît le rôle essentiel des savoirs paysans, fondés sur une sélection des semences selon des méthodes empiriques, mais néanmoins efficaces. « Participatif » doit également se comprendre comme la recherche d'une synergie entre les différentes disciplines de recherche scientifique et le savoir-faire des cultivateurs locaux. Etablir des liaisons entre ces mondes souvent étrangers l'un à l'autre est indispensable à une gestion dynamique, où la conservation des espèces cultivées et leur amélioration vont de pair.

Un besoin : confronter les points de vue

Le forum de Bamako avait l'ambition de rassembler les acteurs de la gestion participative à la ferme des ressources génétiques des plantes. La tenue d'un débat de fond sur les principaux enjeux de la conservation dynamique exigeait en effet que chacun puisse préciser sa position et que la présentation de différentes expériences de terrain alimente la réflexion. Des représentants d'organisations non gouvernementales, d'organisations paysannes locales, de la recherche publique et privée ou encore d'organisations internationales ont ainsi eu l'occasion de se réunir et de débattre de thèmes essentiels de la gestion de la biodiversité alimentaire et agricole : expériences de gestion participative, échanges de ressources génétiques et droits de propriété, perspectives pour l'Afrique des savanes, représentation des communautés paysannes et des acteurs de terrain dans les organes décisionnels de la recherche agronomique au niveau international (Banque mondiale, Groupe consultatif de la recherche agronomique internationale).

Expériences de gestion participative

Un consensus : la gestion de la biodiversité doit être participative

Le principe de gestion participative s'appuie sur le rôle des communautés rurales dans la conservation des ressources génétiques. La pertinence des pratiques et des savoirs locaux est largement admise. Malgré cela, les expériences participatives associant les agriculteurs et les agricultrices dans des programmes de gestion *in situ* sont encore peu reconnues. Les différents intervenants au forum sont tombés d'accord sur la nécessité de lier les impératifs de conservation des variétés à des objectifs de développement et d'utilisation de la biodiversité. Les communautés rurales doivent en effet trouver un intérêt direct à la conservation des ressources génétiques.

Un conflit : quelles sont les priorités ?

Une fois posé le principe de gestion participative, reste à déterminer le meilleur angle d'approche pour le mettre en œuvre de façon efficace. De profondes divergences apparaissent concernant les stratégies à suivre et les actions prioritaires à mener. En particulier, un conflit de positions s'est manifesté sur le choix : favoriser le développement de variétés améliorées pour les cultures de rente ou la diversité des variétés de pays ? Autrement dit, la sécurité alimentaire des agriculteurs exige-t-elle de privilégier les sources de revenus immédiats avec des variétés uniformes et très spécialisées, ou les cultures moins rentables à court terme mais diminuant les risques écologiques à long terme et

favorables à l'entretien *in situ* de la biodiversité ? Ce débat pose plus largement la question du niveau d'intervention de la recherche sur la diversité génétique, de la place que l'on veut réserver à la conservation à la ferme. Des options prioritaires se sont dégagées, comme l'encouragement à la diversité et à l'enrichissement des variétés locales, et la mise en place de banques de semences locales, mais les moyens d'action sont mal définis et les expériences restent peu nombreuses.

Echanges de ressources génétiques et droits de propriété

Droits de propriété, propriété intellectuelle et droits des agriculteurs

Pour les entreprises du secteur, la recherche de nouvelles parts de marché va de pair avec la mise en place de nouvelles normes de concurrence. Elles peuvent agir dans le cadre de la propriété industrielle ou intellectuelle. Le renforcement des droits d'exploitation *via* les brevets, le contrôle des technologies avancées et la garantie du libre accès aux ressources génétiques sont les pivots stratégiques des régimes de compétition internationale.

La reconnaissance de deux systèmes de protection des variétés végétales (brevets ou système *sui generis*) tend à faire passer au second plan le libre accès aux ressources génétiques par rapport au monopole d'exploitation concédé pour une durée déterminée (20 ou 25 ans) à une firme. Aux Etats-Unis, le régime de propriété intellectuelle s'est renforcé depuis 1980. La directive européenne sur la protection des inventions biotechnologiques - pas encore appliquée - tend, quant à elle, à élargir l'espace d'échanges en établissant des normes de concurrence communes. L'extension du régime de propriété industrielle, regroupant brevets, obtentions végétales et marques, couplée en matière d'information au droit d'auteurs, confère aux firmes qui peuvent en bénéficier des droits exclusifs d'exploitation. Parallèlement à ces régimes de droits exclusifs, l'Organisation Mondiale du Commerce reconnaît également des droits limitatifs que sont les accords contractuels d'échange négociés bilatéralement.

Face à l'expansion de la propriété intellectuelle, le forum a ouvert la discussion sur les différentes formes de droit possibles. Les représentants de l'agriculture paysanne ont critiqué le système de protection intellectuelle, d'une part parce qu'ils le jugent incapable de protéger efficacement la conservation des ressources génétiques, et d'autre part parce qu'ils lui reprochent de ne pas tenir compte du fait que les communautés agricoles sont légitimement propriétaires de leurs savoirs et de leurs innovations. La polémique autour de cet argument a rappelé à quel point les droits des agriculteurs demeurent un concept fragile au regard des systèmes de protection reconnus dans le cadre des dispositifs juridiques nationaux et internationaux, qu'il s'agisse des droits d'auteur ou des droits de propriété industrielle. Même si l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) essaie de concrétiser le concept de droits des agriculteurs, particulièrement dans les dispositifs juridiques nationaux, la place de ces formes de droit reste limitée et ne confère aucune exclusivité, aucun titre juridique permettant de neutraliser la concurrence. Les tentatives les plus poussées consistent à mettre en place des formes de contre-rémunération ou des contributions nationales pour constituer un fonds d'indemnisation des agriculteurs.

En l'état actuel des discussions, les droits des agriculteurs s'apparentent pour beaucoup à une simple déclaration d'intentions. Ils sont le reflet de revendications socio-économiques, notamment la recherche d'un mode de contre-rémunération équitable des agriculteurs pour le service qu'ils rendent en s'acquittant de la gestion *in situ*. Mais quelle forme peut prendre cette rémunération ? Certaines entreprises privées pratiquent déjà des négociations directes, au cas par cas, avec les agriculteurs concernés par les variétés qu'elles veulent exploiter. Cela place les populations rurales devant un choix politique délicat : doivent-elles accepter ce type de marchés, qui ne leur offre ni les mêmes garanties, ni la même force juridique que les autres systèmes de droit ?

La perte d'un bien public : la privatisation des ressources génétiques

Comme le souligne le représentant de la Banque mondiale, Michel Petit, la complexité d'établir un mécanisme de rémunération efficace s'explique aussi par le fait que les populations rurales ne peuvent pas mesurer les bénéfices tirés de leurs ressources. Quelle est la valeur économique de la biodiversité ? Comment distinguer, dans la valeur finale d'un produit, la part de la valeur « ressource naturelle » de la part « connaissance » technique associée ? Sans une réponse à cette question, les

modèles économiques qui font aller de pair les subventions à la conservation *in situ* et l'accroissement de la valeur protégée ne sont pas opérants. L'incertitude quant à la valeur qu'une collectivité est prête à attribuer à la biodiversité place le débat sur les choix politiques sous le signe de la confusion et rend les structures incitatives difficiles à déterminer.

Perspectives pour l'Afrique

La faiblesse des débats actuels

Le forum de Bamako a clairement révélé l'inadéquation entre les attentes des agriculteurs et la représentation politique et institutionnelle de ces aspirations. D'une part, les institutions publiques de recherche agronomique en Afrique font face à une crise de confiance des producteurs car elles ont failli dans leur mission d'amélioration des agricultures paysannes largement majoritaires sur le continent ; d'autre part, les règles du jeu international se complexifient du fait de la libéralisation et évoluent très rapidement. Le manque de maîtrise des mécanismes et des débats en jeu se traduit par une crise profonde des institutions agronomiques nationales (crise financière, objectifs inadaptés aux besoins des populations rurales) et par une faible représentation de l'Afrique lors des négociations internationales (Convention sur la diversité biologique, Commission de la FAO sur les ressources génétiques pour l'agriculture et l'alimentation). Ces deux aspects d'une crise profonde appellent à des changements de méthodes de coopération aussi bien entre acteurs qu'entre les différents niveaux de décision.

Changer de méthodes

Les différentes interventions du forum ont pour la plupart insisté sur la définition d'un nouveau mode de coopération entre acteurs impliqués dans la gestion des ressources génétiques. Tout d'abord, l'efficacité des systèmes de recherche locaux exige une relation construite entre scientifiques et agriculteurs, pour pouvoir améliorer des agrosystèmes très divers et spécifiques. Mais ce type de collaboration a du mal à s'imposer : le colloque scientifique a bien montré que les dimensions sociales et économiques des questions liées à la biodiversité et leur évolution dans le temps sont encore insuffisamment étudiées. Pourtant, un partenariat pourrait se renforcer autour de l'amélioration des systèmes agronomiques locaux traditionnels (par exemple, à travers des programmes d'amélioration participative). L'incertitude sur le mode de participation des communautés locales aux négociations nationales et internationales pose les limites politiques de la gestion participative : les organisations paysannes ne peuvent être réellement associées à la gestion de la diversité biologique que dans le cadre de régimes politiques qui garantissent la liberté d'information, d'expression et d'action.

Le type de coopération avec les centres de recherche internationaux est aussi remis en cause. En effet, les bailleurs de fonds sont pour l'instant les seuls à décider de l'orientation des recherches agronomiques. Le forum s'est clairement prononcé en faveur d'une plus grande participation des pays africains dans l'organe décisionnel de la recherche agronomique internationale. Mais, comme le souligne le responsable de la recherche agronomique au Mali, Oumar Niangado, comment les institutions nationales de recherche pourraient-elles participer à une cabine de pilotage internationale alors que le fonctionnement des centres internationaux n'obéit pas à des règles claires ? Cette interrogation renvoie au problème de la transparence et de la « gouvernance » des centres internationaux.

La participation des agriculteurs africains à l'orientation de la recherche internationale plaide pour une redéfinition du fonctionnement même du Groupe Consultatif de la Recherche Agronomique Internationale (GCRAI). Le Groupe doit davantage s'ouvrir aux représentants du continent africain, puisque sa politique a des implications directes sur les droits de la personne humaine, comme le droit à l'alimentation ou les droits des agriculteurs. Dans cette perspective, le président de l'association de solidarité internationale Crocevia, Antonio Onorati, propose que la gouvernance du Groupe s'organise sur le modèle onusien « un pays, une voix ».

Recommandations

Grâce aux débats tenus, aux positions exprimées et aux expériences de terrain rapportées, le forum de Bamako a permis de définir les lignes directrices du travail qui reste à accomplir pour parvenir à une gestion dynamique de la diversité génétique des plantes en Afrique des savanes.

Le premier enjeu est l'accès des populations à une alimentation suffisante et à un niveau de vie décent. L'importance du rôle de la diversité biologique entretenue par les agricultures paysannes est largement reconnue. L'accent est mis sur le rôle des usages locaux liés à la biodiversité qui contribuent notamment à structurer l'identité sociale des communautés. L'effort doit désormais porter sur le renforcement des pratiques locales en favorisant l'amélioration des plantes à la ferme et les techniques de stockage villageoises. Il s'agit donc d'encourager les échanges de matériel et de savoir, non seulement par l'intermédiaire des collections *ex situ*, mais aussi entre les communautés : multiplication des marchés locaux, mise en place de formes alternatives de certification et de commercialisation, prise en compte de différentes logiques d'échange économique.

Le second enjeu réside dans la capacité des pays africains à infléchir les politiques économiques et commerciales internationales. Les organisations locales doivent pouvoir défendre leurs intérêts dans les enceintes où se jouent les négociations les concernant, notamment en matière de droit d'accès ou d'usage des ressources génétiques. D'où la nécessité de tenir des tables de négociation intermédiaires, qui permettront à l'échelon local, mais aussi au niveau de la sous-région, d'être représenté et entendu.

Le troisième enjeu, lié au précédent, consiste à favoriser les moyens de formation et d'information à travers l'échange d'expériences et la mise en relation des différents acteurs. Les organisations non gouvernementales ont là un rôle essentiel à jouer.

SESSION 1

SAVOIR-FAIRE ET PRATIQUES PAYSANNES

L'APPROPRIATION D'UN SAVOIR-FAIRE AGRICOLE LA KUMBA DANS LE NORD-YATENGA (BURKINA FASO)

Maïzi P.

CNEARC, France

On le sait, la place et le devenir des femmes dans l'agriculture en Afrique sont les thèmes d'une profusion d'études depuis 1975. Les agricultrices en particulier sont depuis plusieurs décennies l'objet d'une attention soutenue. En revanche, les études effectuées dans le Yatenga, et le pays mooga en général, qui ont évoqué ou abordé le travail agricole féminin sont exceptionnelles quand on considère l'importance des recherches consacrées par ailleurs au Yatenga. Mais d'une manière générale, quelles que soient les régions d'Afrique et les thématiques abordées, tous les travaux partagent les mêmes constats à propos des agricultrices : la multiplicité des tâches, l'importance du temps passé aux cultures, à la recherche de bois, au puisage de l'eau, à la préparation des repas. Bêtes de somme¹ pour certains, les femmes constituent une catégorie sociale de dépendants, exclus du pouvoir mais partenaires économiques à part entière pour les hommes. La question de leurs savoir-faire techniques quant à elle est rarement abordée, en dehors de quelques références à la sage-femme toute puissante dans l'ordre du vivant, ou à la « sorcière », dont le pouvoir relève à la fois d'un statut génésique ambiguë qui la rapproche des hommes et d'un savoir-faire occulte, acquis dans le secret ou parfois même dans l'illégalité. L'image du savoir féminin qui retient le plus souvent l'attention est avant tout celui d'un savoir marginal, lié au pouvoir de donner la vie ou la mort.

Reste que ces constats généraux que l'on retrouve un peu partout disséminés dans les monographies ou les rapports d'évaluation ne s'accompagnent pas d'études précises sur le travail féminin et encore moins sur les savoir-faire techniques mis en jeu dans chaque acte quotidien. De simples et fréquentes allusions aux charges qui incombent aux épouses sont par ailleurs porteuses d'erreurs d'interprétation. En effet, une énumération trop rapide des travaux féminins devient logiquement réductrice en donnant une image caricaturale et imprécise d'épouses opérant seules dans presque tous les domaines. Or, la division sexuelle des tâches productives n'est pas si facilement antagonique qu'elle puisse n'être qu'une évocation. Autrement dit, de telles descriptions, courantes dans la littérature africaniste, conduisent toujours à s'interroger sur les règles régissant le partage des connaissances et des responsabilités dans la production agricole et sur la possibilité pour les femmes d'acquérir, de maîtriser et de diffuser des savoir-faire nouveaux.

Pour le Yatenga précisément, les études portant sur l'agriculture mooga² ne traitent qu'exceptionnellement des représentations de la division sexuelle du travail agricole dans cette société et de ses implications dans l'organisation quotidienne de la production. Il semble en outre qu'un partage selon les sexes se soit établi, comme un reflet direct de celui qui s'observe et s'exprime quotidiennement dans la réalité paysanne, répartissant les centres d'intérêts entre chercheurs. Si l'on voit bien, par exemple, à travers les écrits de M. Izard (1975 à 1985) ou de J.Y. Marchal (1983), comment s'organise le monde socialisé des hommes, il faut se reporter aux recherches de deux femmes, D. Bonnet (1988) ou S. Lallemand (1977) pour découvrir comment est conçu celui des femmes, à travers la description de l'univers symbolique sur lequel il repose en partie. On sait ainsi que les moose conçoivent la division du travail en opposant l'univers des hommes à celui des femmes, non socialisé, occupé par les génies, traversé par les fous et les devins (Bonnet, 1988), directement associé à l'espace de la brousse inhabitée, non cultivée. Cet univers de l'errance est aussi celui du désordre³.

¹ Le terme a été employé par T. Sankara dans sa « Proclamation du 4 août 1983 ».

² Elles sont nombreuses si l'on ne retient pas seulement les recherches en sciences humaines et si l'on tient compte par exemple de tous les travaux produits dans le cadre de la recherche-développement.

³ Mais « la capacité de la femme à donner la vie, autrement dit à permettre le transfert des enfants du monde des génies à celui organisé des humains, lui confère une place symbolique de médiation entre ces deux espaces. (...). Cette place de médiation ne donne théoriquement, du point de vue de l'organisation sociale, aucun droit religieux et politique à la femme » (Bonnet, 1988).

Si toutes ces indications nous permettent de mieux comprendre certains aspects de l'organisation du travail, l'analyse précise de la répartition sexuelle des tâches agricoles et des savoir-faire féminins dans toute les chaînes opératoires de l'agriculture restent à faire. Cet article n'y contribue qu'en partie puisqu'il est limité d'une part à l'étude des savoir-faire et techniques engagés par les agricultrices dans une activité agricole particulière, le jardinage, et d'autre part à des activités qui se déroulent exclusivement en zone de bas-fond, c'est à dire dans un milieu écologique particulier, qui ne représente qu'une très faible surface à l'échelle d'un terroir villageois sahélien et dont la mise en valeur agricole constitue une initiative relativement récente dans cette région.

On peut dans un premier temps s'interroger ici sur le choix des termes : jardinage ou maraîchage, puisque les deux termes semblent indifféremment employés dans les écrits et les orientations des institutions de recherche ou de développement. On admettra ici, suite à une première réflexion historique sur la question⁴, que la notion de jardinage est la plus adaptée à la situation observée dans le village de Bidi dans le Yatenga. Le jardinage y est en effet aujourd'hui l'acte par lequel on entretient un jardin, toujours signalé dans l'espace par une clôture permettant de protéger des végétaux, parmi lesquels on compte naturellement les légumes. Le jardin (nyagre) se distingue ainsi du champ (puugha) sans clôture d'aucune sorte.

En moore, le jardinage et les légumes sont désignés par le terme *zeedo* (sauce) et le jardin nous renvoie à l'emplacement strictement réservé à certaines plantes à sauce comme aux légumes. C'est donc un espace riche en variétés végétales sélectionnées et volontairement entretenues.

Une autre notion peut être utilisée dans cette région, qui désigne cette fois la clôture, *nyagre*. Le jardinage est donc ainsi caractérisé par un marqueur spatial et une vocation alimentaire : il s'agit toujours de cultiver, sous enclos, des plantes qui entrent dans la composition d'une sauce.

Au delà d'une désignation, le jardinage moaga s'inscrit de manière originale dans l'ensemble des techniques agricoles, à travers des critères technologiques et économiques spécifiques. Mais il s'inscrit aussi comme une forme particulière de gestion des ressources génétiques végétales. En effet, là plus qu'ailleurs peut-être, l'intervention humaine est permanente, guidée par une volonté de sélection, de diversification, de contrôle et de rentabilité des espèces entretenues.

Par ailleurs, le jardinage en pays mossi ne peut se développer partout. L'aridité du milieu interdit toutes cultures irriguées notamment, en dehors des zones de bas-fonds, véritables cuvettes humides, aux sols riches, capables d'apporter tous les éléments nécessaires à la croissance de légumes et de fruits, grands consommateurs d'eau. Mais les systèmes de cultures sur terres humides, dans ce type de région, se situent toujours sur des espaces restreints. La concurrence pour l'accès à l'eau et aux terres dans ce type d'espace est donc forte (Lavigne - Delville, 1995), d'autant plus que l'assurance de bonnes récoltes et de hauts rendements y est grande. Pourtant ces zones particulières ont rarement été étudiées ou prises en compte avant la fin des années soixante dix. A cette période seulement, quelques institutions cherchant à compenser les déficits vivriers récurrents en Afrique de l'Ouest lancent des programmes d'études et d'aménagements sur ces zones de bas-fonds. On note alors l'existence d'au moins onze types de systèmes de cultures irriguées en Afrique de l'Ouest (P. Richards, 1985). L'apparente homogénéité des systèmes de culture sur terres humides, décrite jusque dans les années soixante dix, fait alors place au constat et à la démonstration scientifique de l'existence de systèmes diversifiés selon les régions, selon les milieux. La diversité des modes d'adaptation y est d'autant plus importante que les agriculteurs ne disposent pas de moyens pour modifier le milieu (pas d'intrants par exemple).

On constate dans le même temps que les systèmes intensifs hérités d'Asie et vulgarisés en Afrique constituent un échec : ils exigent une trop forte intensité de travail pour un milieu qui ne le nécessite pas forcément. Depuis, on s'attache à identifier les techniques traditionnelles africaines de mise en valeur des bas-fonds, qui semblent adaptées, justifiées par les agriculteurs, compte tenu du milieu physique et humain. On s'attache aussi à rechercher des possibilités d'extension de ces systèmes techniques, en tenant compte cette fois des interactions inévitables et nécessaires entre savoir-faire techniques, règles foncières, besoins vivriers exprimés et modes d'organisation sociale.

⁴ Cf. Techniques féminines moose dans le Yatenga (Burkina Faso), Doctorat d'anthropologie sociale et ethnologie, EHESS, 1993.

Enfin, il paraît désormais évident que la capacité d'adaptation et d'innovation n'est pas directement fonction de la densité de main d'œuvre disponible. Au Sierra Leone par exemple (cf. P. Richards, 1985), une faible densité de population n'empêche pas de repérer des processus d'invention, d'adaptations saisonnières, annuelles, aussi bien dans l'organisation du travail que dans les méthodes de semis, le choix des variétés ou l'organisation de l'espace cultivé.

Dans le Yatenga, on peut établir les mêmes constats et vérifier par ailleurs comme le fait P. Richards au Nigéria que les stratégies paysannes dans les zones de bas-fonds notamment, ne sont pas fixées par la tradition, mais tiennent compte, comme ailleurs, d'évolutions sociales significatives (l'influence de certains phénomènes migratoires par exemple ; ou encore, l'importance donnée aux femmes dans les discours institutionnels et gouvernementaux), ou de variables économiques qui touchent non pas seulement l'unité de production isolée mais affectent l'ensemble du marché des produits de l'agriculture (la croissance des échanges entre villes et campagnes par exemple). Si ces stratégies paysannes évoluent, expriment des dynamiques locales, spécifiques, alors il est évident que les représentations des agriculteurs, leurs savoir-faire évoluent aussi, et que l'étendue des connaissances écologiques, techniques, agronomiques, économiques ou institutionnelles joue un rôle essentiel dans la capacité à maîtriser les changements et à transformer un milieu aussi particulier que celui des bas-fonds.

Plus précisément, l'exploitation du bas-fond de Bidi, village du Yatenga où ont été recueillies nos données, relève d'une dynamique agraire que l'on retrouve d'ailleurs dans d'autres zones d'Afrique de l'Ouest (cf. Luxereau, Raynaud,...) : dégradation des terres de cultures pluviales sous la pression démographique et la fermeture du marché foncier, récurrence des sécheresses, recherche de revenus supplémentaires pour pallier aux déficits agricoles et assurer la subsistance familiale en période de soudure, encouragement des pouvoirs publics et des organismes de développement pour valoriser autrement les zones de bas-fonds pour l'agriculture alors que leur accès était autrefois réparti entre éleveurs et agriculteurs qui utilisaient les bords du bas-fond pour des céréales de décrue. Cette dynamique caractérise d'une certaine manière l'utilisation des zones de bas-fond en Afrique de l'Ouest. Mais chaque région a ses particularités et exprime donc à sa manière et dans le temps de sa propre histoire la place qu'elle donne à un espace aussi restreint que celui du bas-fond.

Ainsi l'histoire du jardinage à Bidi n'est pas celle d'une promotion technique récente suscitée par des institutions extérieures. Retraccée aujourd'hui par quelques habitants, elle est assimilée à l'origine de l'aubergine (ou tomate amère) qui aurait été introduite dans les années 50 par un homme qu'on présente aujourd'hui comme l'un des plus grands dignitaires musulmans du village. De fait, l'histoire du jardinage et de l'introduction de la *kumba* à Bidi est indissociable d'une histoire politique locale. L'enquête ethnographique nous apprend en effet que la population du quartier de Munisaka (le quartier le plus proche du bas-fond et aujourd'hui son principal utilisateur) est descendante de captifs royaux, eux-mêmes issus du village de Muni, en bordure nord-ouest du royaume mossi, qui a donné son nom à Munisaka. Capturés lors de razzia, les captifs ont échappé à la mort et ont été installés par le pouvoir royal en divers lieux du royaume pour y assurer la production agricole au service des instances politiques et économiques mossi. Les captifs de Muni se sont installés à Munisaka vers 1910 et sont à cette époque les seuls représentants à Bidi du groupe de conquérants moose. Ils ont de ce fait un pouvoir significatif dans le village. En 1920 - 1930, une chefferie légitime car directement issue de lignée royale est installée à Bidi par le pouvoir centralisateur de Ouahigouya⁵. Un déséquilibre et des conflits s'instaurent alors en défaveur des anciens captifs. L'Islam dont l'expansion commence autour des années 20 dans le Yatenga constitue alors une opportunité pour tenter d'acquérir d'autres pouvoirs qui ne se réfèrent ni à l'état mossi ni à l'ordre colonial : en véhiculant d'autres codes de pensée et de pratiques, l'Islam offre d'autres formes de légitimité pour les groupes soumis à discrimination sociale, comme c'est le cas des habitants de Munisaka. C'est donc à travers la conversion religieuse que certains habitants de Munisaka vont conquérir un nouveau pouvoir, qui transcende les frontières et les statuts politiques traditionnels. C'est pour « légaliser »

⁵ La capitale politique du royaume du Yatenga abrite toutes les lignées royales. La chefferie installée à Bidi est issue de la lignée *nakombga*, c'est à dire des descendants agnatiques du roi à partir de la génération des petits fils. Du fait de son statut, à cheval entre pouvoir central et pouvoir local, le chef *nakombga* « inquiète le pouvoir central s'il est bien accepté par les habitants du village qu'il commande ; on voit là, en haut lieu, une situation porteuse d'un risque de sous-territorialisation, (...). L'espace politique des *nakombse*, marqué par les luttes entre lignées pour le pouvoir central et pour le pouvoir local, est un espace de déséquilibre et de violence » (Izard, 1985).

cette conversion que certains individus de Munisaka se rendent au Mali, pôle religieux à la fois le plus ancien et le plus prestigieux d'Afrique de l'Ouest.

A la même époque, le pouvoir colonial, relayé par la chefferie mossi, tente un contrôle sévère des mouvements de population, recrute des hommes valides tout en incitant les villageois à se procurer des revenus monétaires pour assurer le paiement de l'impôt ou l'achat de mil. Les hommes de Munisaka, convertis à une religion qui depuis le XVIII^{ème} siècle est associée au développement du commerce sur longues distances, multiplient alors leurs échanges avec les grands centres économiques et religieux du Mali. Ils se souviennent aujourd'hui des caravanes de porteurs qui montaient aux falaises de Bandiagara des feuilles de baobab séchées, de la kola du Gold Coast, en échange desquelles elles rapportaient du coton à filer, des oignons du pays dogon, consommés aussi bien que vendus de retour dans le Yatenga : « on allait au Mali vendre de la kola, et l'on a vu alors les dogon cultiver la *kumba* en saison sèche ».

Il faut attendre les années 1950 pour que des semences d'aubergines amères (*Solanum esculentum* ou *Solanum incanum*) soient ramenées à Bidi⁶. La nouvelle variété alimentaire est alors soumise à plusieurs expériences de culture car les milieux d'origine et d'emprunt sont différents. La culture est d'abord tentée en saison des pluies sur des terres proches généralement cultivées en maïs ou en mil avant d'être définitivement réalisée en saisons sèche. A cela plusieurs raisons : la volonté de conserver les parcelles de cultures vivrières tout en bénéficiant d'une nouvelle production (qui n'est consommée qu'en sauce) engage à mettre en culture des terres peu exploitées comme celles du bas-fond ; l'accès prioritaire au bas-fond du fait du statut de premiers occupants des habitants de Munisaka favorise le choix de mettre en valeur le bas-fond ; l'exigence en eau de la *kumba* justifie son implantation dans le bas-fonds en saison sèche, c'est à dire quand tout l'espace est disponible (en saison des pluies, il est inondé).

La localisation du groupe en bordure du bas-fond et l'accès facile à l'eau permettent alors une exploitation régulière et rentable de la *kumba* et sa progressive diffusion sur tout l'espace du bas-fond appartenant à Munisaka. Cette expansion signifie bien entendu une disparition simultanée des espèces végétales peuplant le bas-fond et traditionnellement utilisées pour le bétail du moins sur les portions de bas-fond qui ne sont pas cultivées en sorgho ou en maïs : herbes, céréales sauvages, arbustes, sont éliminés au profit d'une culture nouvelle destinée à l'homme.

L'emprunt technique constitué par l'adoption d'une nouvelle plante à sauce et la création de jardins pour la cultiver de manière optimale s'appuie donc sur l'existence d'un milieu favorable, défini par un ensemble de circonstances historiques et écologiques, dans lequel la connaissance acquise par les colporteurs et dignitaires musulmans est rapidement matérialisée par une pratique organisée et régulière.

Si les cultures pluviales imposent une organisation du travail concentrée sur la saison des pluies, les cultures de bas-fond sont caractérisées par un déroulement des opérations qui n'est pas tributaire de la pluviométrie. Des ressources en eau de surface et des nappes en général peu profondes permettent que le jardinage n'entre pas en concurrence directe avec les travaux agricoles dans les champs. Cependant, l'appétence des feuilles et fruits de la *kumba* impose une protection rapprochée de la plante et justifie son implantation dans des jardins clôturés. Ces derniers sont connus avant l'introduction de la *kumba*, puisqu'ils existent dans des villages proches de Bidi pour protéger la culture du coton.

Dans les années cinquante les jardins ont d'abord été installés dans le lit même du bas-fond. Mais les contraintes du site sont alors nombreuses : la dégradation des cultures pendant les fortes crues, l'inondation saturante des arbustes et des plantes cultivées obligent les agriculteurs à déplacer les jardins vers les bords du lit, au détriment toutefois de l'accès à l'eau, moins abondante sur les pentes. L'espace des jardins s'est aujourd'hui stabilisé : ils sont désormais situés sur une zone de glacis non inondable, proche des habitations, restreinte mais appartenant totalement aux habitants de Munisaka sans qu'aucune concurrence ne s'y impose (notamment l'abreuvement du bétail des éleveurs).

La stabilisation des jardins est matérialisée non pas tant par les clôtures que par la présence de vergers, créés il y a une quarantaine d'années, juste après l'introduction de la *kumba*. Goyaviers,

⁶ R. P. Prost (1941) signale dans le pays mossi, mais sans préciser la région, l'existence « d'espèces de grosses aubergines indigènes à forme de tomate et de goût amer (bisa : *base* ; mossi : *kumba* ; sg. *Kumbre*) ».

L'aubergine amère n'est donc pas cultivée qu'au Mali et d'autres groupes mossi plus au sud du Yatenga, sans doute, la cultivent déjà.

manguiers, raisiniers, tamariniers, néré et ficus servent à la fois de marqueurs fonciers et d'ombrages pour les cultures. Leurs âges révèlent en outre une stratégie constante de diversification des ressources et de capitalisation des arbres fruitiers rémunérateurs. Les jardins-vergers définissent ainsi un espace de travail intensif, différent de l'espace vivrier, déterminant un droit de culture et d'héritage en ligne patrilinéaire sur des terres qui ont été attribuées au groupe dès son arrivée dans le village.

Toutes les séquences de culture de la kumba ont été apprises par quelques hommes au Mali. Elles sont depuis cette époque reproduites d'une année sur l'autre non sans innovations locales issues elles-mêmes d'emprunts techniques au voisinage régional : le principe technique de la clôture en est un, de même que la technique d'irrigation à la raie à partir d'une eau puisée à la main dans un puits temporaire creusé dans le jardin.

Les récits des plus vieux agriculteurs de Munisaka présentent les semences, la technique de repiquage quinze jours après les semis, l'arrosage par déversement au poquet et plus largement le principe d'irrigation, comme des traits techniques empruntés au groupe dogon du Mali, qui tous ensemble définissent et conditionnent la réalisation du jardinage ; à l'opposé, la clôture des jardins serait une adaptation fonctionnelle des anciennes clôtures locales servant à protéger les champs de coton. Les sols et les techniques de sarclage correspondant à ces derniers étant par ailleurs sensiblement différents d'une région à l'autre, on peut penser que les opérations de soins aux plantes réalisées à Munisaka sont des réponses techniques adaptées aux contraintes locales et non le résultat d'un emprunt.

Il n'y a pas lieu de décrire ici toutes les étapes techniques qui permettent d'obtenir une bonne cueillette de kumba. Par ailleurs, aucune enquête n'a été conduite pour découvrir de quelles manières les hommes de Munisaka ont appliqué ou innové autour d'une technique de culture relativement complexe et surtout si différente des cultures vivrières. On sait seulement que pendant plusieurs années, ce savoir faire technique reste le monopole d'un groupe masculin : les hommes de Munisaka, descendants et alliés directs des premiers dignitaires musulmans. On sait aussi que l'Islam valorise les actions individuelles et l'introduction de la kumba à Munisaka constitue un élément essentiel pour comprendre les relations et statuts que l'on peut observer dans ce quartier de Bidi. De plus, en étant étroitement associée à l'initiative individuelle masculine, cette religion est localement conçue comme un tremplin pour promouvoir de nouvelles pratiques agricoles, de nouveaux modèles de consommation et favoriser le développement du pouvoir économique de ceux qui s'y engagent : l'argent procuré par la vente des kumba est donc à la fois source de profits et renforcement d'un prestige.

Enfin, tout comme l'argent, l'espace du bas-fond, la kumba et le savoir-faire technique qui lui est forcément associé constituent des ressources individuelles, nominatives, qui à l'inverse de bien d'autres ne sont pas partageables à l'échelle d'un groupe et encore moins d'un village. C'est pourquoi la culture de la kumba est restée le monopole technique et économique d'un nombre restreint d'hommes directement liés au premier initiateur par filiation (frères et fils). Dans le système de pensée mossi, le statut de cette culture est celui de *rapa koobo*, c'est-à-dire une culture dont la responsabilité et le produit (libre disposition des récoltes) incombe aux hommes.

Ce n'est qu'en 1985 que le chef religieux de Munisaka (descendant d'un fondateur du quartier) incite ses épouses à travailler dans les jardins en présentant cette initiative comme une réponse possible aux effets dévastateurs de la sécheresse. En 1986 puis 1987, d'autres femmes liées au chef religieux par leur alliance se familiarisent à leur tour avec les pratiques culturelles spécifiques au jardin. En 1989, huit femmes cultivent avec les hommes une parcelle de kumba dans le bas-fond. On peut se demander pourquoi brusquement les hommes délèguent aux femmes les principales opérations de soins aux plantes dans les jardins. La sécheresse n'est sans doute pas la seule explication, elle est au mieux un catalyseur pour une stratégie qui s'inscrit dans un cadre plus complexe, qu'on envisage au travers de quelques hypothèses :

- le caractère rémunérateur n'est pas exclusif du jardinage. D'autres activités tout aussi rémunératrices peuvent se dérouler en saison sèche. Mais elles nécessitent des déplacements de population : l'orpaillage sur les sites aurifères de la région ou le travail en plantation de Côte d'Ivoire sont les activités qui mobilisent toute la population masculine active du Yatenga entre les mois de novembre et mai. Dans ce contexte, le jardinage apparaît - au moins pour les aînés de lignages qui ont la responsabilité de tous les ménages et de la production vivrière - comme une opportunité de gestion des risques agro-climatiques qui peut compléter d'autres activités

rémunératrices. En laissant alors aux femmes le soin d'assurer cette production, les hommes de Munisaka ont la possibilité de multiplier les espaces rémunérateurs du groupe de production ;

- les migrations et l'orpaillage s'illustrent par un fort absentéisme des hommes en saison sèche, qui justifierait logiquement la délégation, sinon immédiate du moins progressive, du jardinage aux femmes, au moins pour les opérations se déroulant après les récoltes de céréales ;
- l'importance croissante des femmes, en zone périurbaine de Ouahigouya, qui travaillent dans des jardins individuels et qui vendent sur le grand marché de la ville des légumes nouveaux, a pu influencer certains agriculteurs ;
- enfin, la diversification possible de la production à travers l'accès récent à de nouvelles semences (carottes, tomates, choux), qui permet d'étendre les réseaux de commercialisation, peut favoriser aussi une nouvelle organisation du travail, les hommes prenant en charge les nouvelles espèces et les femmes assurant la culture d'un légume désormais ancré dans la tradition. Le maintien délibéré d'une production ancienne à côté d'un nouveau produit multiplie le montant des revenus.

Mais ces hypothèses ne sont pas directement formulées par les agriculteurs. Pour recueillir l'adhésion de leurs épouses, les doyens du quartier ont présenté le jardinage comme une activité technique libérée des aléas climatiques et permettant surtout de créer des revenus supplémentaires personnels qui viendraient compléter ou remplacer les revenus féminins issus du commerce d'aliments préparés (beignets, galettes). L'accès aux jardins pour les femmes ne les oblige pas non plus à renoncer à leurs parcelles individuelles où domine le mil en association avec l'oseille de Guinée.

Toutefois, la culture de la kumba impose des contraintes techniques inconnues des femmes. Leur entrée dans les jardins signifie donc pour elles l'acquisition d'un nouveau savoir-faire. On s'est donc posé la question de savoir de quelle manière les femmes avaient appris et comment elles contrôlaient aujourd'hui les différentes étapes techniques et économiques du jardinage. L'observation des étapes techniques et de la place qu'occupent les femmes pour chaque opération a permis ainsi de reconstruire avec précision les contenus de l'apprentissage technique et la position des agricultrices face à cette production particulière.

La préparation du sol

Elle consiste ici à créer des planches de semis, puis, plus tard, à préparer des plates-bandes de repiquage. Les deux opérations sont masculines et nous rappellent que les femmes n'interviennent jamais dans cette étape de préparation du sol dans les champs. C'est là une série d'opérations masculines quel que soit l'espace de culture.

L'ensemencement

Cette étape est constitutive de la première et se déroule au plus tard 24 heures après celle-ci. Les semences d'aubergine proviennent toutes des récoltes effectuées l'année précédente et conservées par les hommes. Ils prélèvent à la fois sur leurs propres cueillettes et sur celles des femmes un certain nombre de fruits sélectionnés en fonction de la quantité de fruits fournie par un seul pied. Là encore chaque homme contrôle toutes les opérations de semis. Aucune épouse n'intervient dans cette séquence. Aucune d'elles n'a donc accès à la connaissance qui permet de juger de la période optimale de semis ou de maîtriser et de justifier les opérations liées à l'ensemencement. D'ailleurs, cette étape est réalisée en pleine période de sarclage sur les champs de cultures vivrières et les épouses de jardiniers assument alors seules cette tâche longue qui les éloigne des jardins.

Le repiquage

Trois opérations déterminantes pour le résultat de la production sont constitutives de cette séquence technique : les jeunes plants de la pépinière sont déterrés, triés, puis repiqués sur des plates-bandes préparées par les hommes. Les pousses présentant des signes de faiblesse (feuilles jaunies, croissance insuffisante) sont laissées sur place à sécher. Ces plates-bandes s'étalent tout autour des arbres fruitiers. Elles définissent une aire cultivée, variable d'une année sur l'autre. Un second tri est réalisé quinze jours après le repiquage.

Les hommes contrôlent ici le port des tiges, le nombre de feuilles, avant de repiquer chaque pied dans un poquet préalablement inondé. Les femmes n'interviennent pas pour trier les plantules ; en revanche elles sont présentes pour arroser les poquets. Elles reçoivent à ce moment-là seulement un certain nombre de jeunes pieds de kumba des mains de leur époux ou même de leur fils qu'elles vont repiquer elles-mêmes sur les planches de repiquage qui leur sont attribuées et qui ont été préparées pour elles. Sans connaître là encore les critères de choix des plants, les femmes considèrent que ce n'est ni la surface ni le nombre de plants qui leurs sont attribués qui jouent sur la quantité de fruits récoltés. C'est pour elles la qualité des soins prodigués aux plantes qui détermine en premier lieu l'importance d'une production. Elles vont donc à partir de là s'investir au maximum pour tenter de maîtriser la croissance des plantes et s'assurer ainsi une bonne récolte.

Les soins aux plantes

La conception, la mise en place des parcelles et des plants sont des attributions exclusivement masculines, tandis que les séquences de soins aux plantes reviennent aux femmes, sachant que tous les outils et intrants intervenant dans les différentes opérations sont fournis et entretenus par les hommes (puits, moyens d'exhaure, arrosoirs, engrais, insecticides). L'arrosage constitue une opération quotidienne, étalée sur trois mois. Indissociable du puisage, c'est la plus contraignante des tâches mais aussi la plus essentielle, puisque logiquement le succès de l'entreprise en dépend largement. Son caractère prioritaire fait d'elle une contrainte technique, obligeant les épouses à modifier l'organisation de leurs travaux et habitudes. Concurrentielle dans le temps des sarclages et des premières récoltes d'arachides, cette tâche est perçue comme pénalisante pour l'ensemble des travaux quotidiens par les femmes qui ne peuvent se faire aider. C'est d'ailleurs elle qui détermine l'accord ou le refus des épouses à s'engager dans le jardinage aux côtés de leur mari.

Entretien des plantes : sarclages, fumure, protections

Dès que les jeunes plants ont été repiqués, chaque passage dans le jardin pour arroser est aussi l'occasion de contrôler l'état des végétaux et d'intervenir à temps. Le sarclage, considéré comme un moment essentiel, permet d'éviter l'étouffement des plantes par des herbes adventices, d'enterrer du fumier et de remodeler les poquets. Il est réalisé tous les sept jours, au rythme de croissance des adventices nous disent les femmes qui prennent totalement en charge cette opération, avec une attention soutenue, dégageant à la main certaines herbes, repoussant la terre, ameublissant les quelques mottes, redressant les plants.

Pour fumer les végétaux, les femmes sont conseillées et guidées par les hommes. Le renouvellement d'une opération d'épandage leur est aussi signalée par les hommes. Car tous les critères de contrôle des cultures ne sont en fait pas transmis aux femmes. La protection des plantes, enfin, passe par une série de contrôles et de gestes spécifiques qui se déroulent aux mêmes moments encore que les sarclages et l'arrosage. La taille des poquets, l'ensoleillement sont ici étroitement surveillés. Les femmes mentionnent d'autres fléaux : le vent qui fait perdre ses fleurs au plant d'aubergine et diminue par conséquent sa production de fruits, les chenilles qui creusent les tiges mais contre lesquelles on ne peut rien, enfin les sauteriaux contre lesquels on utilise un insecticide fourni par les hommes.

La cueillette

On cueille à la main les premières aubergines un mois environ après le repiquage. Puis, tous les trois jours environ et pendant deux mois, chaque femme repasse sur sa parcelle détacher les nouveaux fruits. Plus tard, vers la fin du mois de novembre, les feuilles sont cueillies et les tiges déracinées pour être données aux ruminants⁷. On laisse toujours un ou plusieurs pieds d'aubergines avec un fruit ou deux à sécher sur place. Ils ont été sélectionnés par l'épouse et sous le contrôle d'un homme du fait de leur productivité. Leurs graines seront utilisées l'année suivante et chaque homme conserve chez lui les futures semences.

⁷ On trouve certaines variétés d'aubergine dont les feuilles sont consommées par les ménages, après avoir été séchées, dans une sauce. Ces variétés étaient inexistantes à Bidi lors de nos enquêtes. Il serait intéressant de voir si aujourd'hui de nouvelles variétés ont été adoptées.

S'ils n'ont pas été mentionnés dans l'exposé, d'autres légumes sont parfois présents dans les jardins et signalent alors des variations techniques ainsi que des choix personnels venant d'agriculteurs, conseillés par des encadreurs ou liés à des organisations paysannes régionales. Ces légumes cultivés à côté de la kumba sont alors présentés comme des tentatives individuelles ou le résultat d'opportunités sur le marché. Mais quand il est le résultat d'une initiative personnelle d'un cadet, le choix de nouvelles semences peut être parfois freiné⁸ par une interdiction émanant du propriétaire du jardin, refusant en fait que l'espace attribué au cadet soit agrandi. Les enjeux économiques et fonciers de l'initiative individuelle restent sous le contrôle des aînés et propriétaires éminents des jardins. C'est la raison pour laquelle peu d'agriculteurs réalisent d'autres cultures de jardin que celles pour lesquelles ils ont obtenu un droit d'accès à l'espace clôturé des jardins.

La commercialisation

Pour tous les agriculteurs et pour les femmes en particulier, la production d'aubergines amères est à la fois destinée à la vente et à des dons. L'une et l'autre destination sont socialement justifiées, l'échange monétaire ne pouvant remplacer l'échange non marchand, premier facteur d'une sociabilité de voisinage. Cependant, toute l'organisation de la cueillette est guidée par l'objectif d'une commercialisation rapide. Les fruits mûrs sont ainsi cueillis tous les trois jours, au rythme des marchés de Bidi. Leur prix est immédiatement évalué en fonction de leur taille⁹. Hommes et femmes trient eux-mêmes les fruits et remplissent différentes calebasses. En dehors des jours de marché, il est aussi possible de vendre la production auprès d'une clientèle venue de quartiers ou villages voisins, qui préfère s'adresser directement aux producteurs. On y trouve aussi des revendeurs dont l'aire d'échanges dépasse largement le cadre de la sous-région. Ils rachètent alors la production par sacs de 20 ou 25 kg, dans lesquels se mêlent productions masculines et féminines, chacun ayant préalablement comptabilisé sa propre part de revenus.

Dans tous les cas, les prix sont fixés par chaque propriétaire de jardin qui tient compte de la saison¹⁰, d'un prix courant qui préexiste dans des villages voisins, de la distance qui sépare le lieu de production du marché et enfin du type de clientèle : les prix dépendent donc du degré d'intégration dans un réseau d'échanges, d'autant plus que les fruits sont difficiles à stocker et doivent être rapidement consommés. D'une manière générale, les femmes ne se chargent que de la vente à domicile et délèguent parfois à leurs enfants ou à leur époux le commerce de fruits sur le marché de Bidi. Elles évoquent ici l'Islam qui interdit aux femmes de faire du commerce. Là encore finalement, la production de kumba par les femmes reste sous contrôle masculin. Au contraire des hommes, elles ne participent pas à la recherche de nouveaux clients. Elles n'ont pas non plus la maîtrise des prix dans la mesure où la production vendue à domicile est aussi mêlée à celle des hommes, premiers interlocuteurs des revendeurs et responsables de toute variation des tarifs.

Ainsi, même rapidement décrites, les connaissances relatives au jardinage au contraire de savoir-faire plus traditionnels (relatifs à la cuisine par exemple) reposent avant tout sur une accumulation tardive de pratiques et d'astuces techniques. Si le jeu, l'intégration progressive dans une technique constituent des étapes essentielles pour la cuisine ou l'apprentissage de l'agriculture vivrière, c'est la réalisation d'une série de tâches alternatives, complémentaires des moments stratégiques, qui définit la progression d'un savoir et d'une maîtrise technique liés au jardinage. La part du regard est essentielle ici comme moyen de se familiariser dans un processus d'initiation à des séries hiérarchisées de gestes et de procédures. Le regard est aussi le plus sûr moyen de se familiariser avec l'état des matières premières, sols et végétaux en phase de croissance. « On regarde pour apprendre à faire, puis pour demander et s'instruire ; puis on apprend pour savoir » disent les épouses. On ne se réfère pas seulement aux qualités de l'œil mais aussi à la capacité intuitive de chacun pour à la fois observer, réfléchir et comparer. C'est le regard, confronté au discours normatif donné par les hommes, qui permet de ne pas limiter l'apprentissage à une simple imitation. En quelques sortes, un double processus se construit en permanence : d'un côté l'apprentissage de séquences et d'opérations qui font

⁸ Tout agriculteur est en effet sensible aux prix des semences nouvelles sur le marché et la baisse de certaines semences favorise des expérimentations individuelles à petite échelle. Là encore, l'agriculture n'est pas une activité figée par la tradition et les agriculteurs mossi apprécient l'expérimentation, la nouveauté, l'initiative.

⁹ En 1989, les plus gros sont vendus 20 à 25 F CFA pièce ; les plus petits sont vendus à 15 F CFA pièce. Les fruits des arbres fruitiers sont vendus plus tard, d'avril à juin.

¹⁰ Les prix augmentent progressivement quand la saison s'achève.

figure de modèles généraux d'invariants, de l'autre l'accumulation d'observations différentes et comparables, donnant à connaître des variations possibles des actes et des matières.

C'est donc ce double processus qui permet aux femmes, année après année, de se familiariser avec les changements morphologiques ou l'aspect évolutif des plantes, mais aussi d'intégrer de nouvelles nécessités ou possibilités techniques, des règles et astuces mises d'abord en application par les hommes. Et dans la mesure où elles désirent poursuivre leur activité dans les jardins, acquérir à travers elle plus d'autonomie technique puis monétaire, l'adoption de ce savoir procédural est rapide : une dynamique innovante les pousse à rechercher ou à emprunter les solutions correspondant à leurs besoins (Martinelli, 1987), afin d'être moins dépendantes techniquement des hommes notamment pour évaluer leurs cultures, le climat, les possibilités et contraintes du milieu.

La position des agricultrices face au jardinage

Au bout du compte, la participation des femmes au jardinage n'engendre pas une division nette des espaces de culture, des tâches et des produits entre hommes et femmes. Comme dans les autres chaînes de production agricole vivrière, l'affectation différenciée (selon les sexes) des opérations n'opère pas à tous les niveaux de l'itinéraire technique mais permet de maintenir les agricultrices en état de dépendance technique pour l'accès aux moyens de production et le contrôle de la production. En effet, si les épouses contrôlaient les stocks de semences, elles seraient en mesure de créer leurs propres planches de semis et d'étendre leurs parcelles de culture, de créer des réserves individuelles d'aubergines ou de piments, en bref de mettre en place une chaîne de production indépendante. La prise en charge des opérations liées à l'ensemencement, véritable spécialité technique masculine, permet donc de maintenir une division sexuelle des attributions techniques et de la production, de renforcer le pouvoir économique des époux, tout en donnant aux agricultrices les moyens d'acquérir un peu plus d'autonomie monétaire à travers le contrôle et l'écoulement des plants qui leurs sont fournis.

Sans revendiquer l'appropriation de toutes les étapes techniques du jardinage, les agricultrices considèrent leur présence dans les jardins comme le signe d'une entente qui bénéficie à chacun des partenaires. Les sommes parfois importantes recueillies chaque année permettent en effet d'assurer l'alimentation de tous les membres du segment de lignage et de constituer une épargne qui servira à la famille toute entière. Or aucune autre activité, surtout en saison sèche, ne favorise ainsi l'accord entre catégories de sexes, à la fois dans le déroulement d'une partie des opérations, la diffusion commerciale puis la gestion des bénéfices individuels. C'est d'ailleurs cette entente que les agricultrices présentent aussi comme signe évident de distinction sociale entre les groupes paysans exclusivement voués aux cultures extensives et les catégories de producteurs-jardiniers. Renforcée par l'isolement d'un milieu favorable limité, le bas-fond, cette distinction devient logiquement porteuse d'une identité.

Souvent comparé à l'orpaillage, le jardinage est perçu comme une activité temporaire, possible mais non obligatoire, procurant des revenus supplémentaires sur une courte période de l'année. Entretenir un jardin de kumba n'est par ailleurs porteur d'aucun signe socialement valorisé pour les femmes : arroser, sarcler, protéger, cueillir, sont des actes détachés de toute histoire individuelle, sans marqueurs physiques, sans implication foncière ou technique pour les femmes. Les connaissances qu'il suppose sont, pour la plupart, acquises ailleurs et bien avant sur les champs. En effet, les nouveaux savoir-faire restent sous contrôle masculin : l'essentiel des gestes et notions nécessaires est communiqué aux épouses mais tout ce qu'il y a à savoir n'est pas transmis. C'est aux femmes de reconstruire petit à petit, au fil des années et de leur propre expérience, un savoir personnel. Dans la mesure où chaque année se présente comme une variante climatique, l'ouverture d'une saison de jardinage suppose toujours un contrôle permanent de leurs plates-bandes ou de la croissance des plantes et chaque femme exprime alors à sa manière, la réactualisation permanente d'une confrontation nécessaire avec un milieu particulier, le jardin. Rien n'est acquis simplement parce qu'une femme a suivi les conseils d'un homme. Cependant et paradoxalement, toute initiative lui est déconseillée, alors même qu'une initiative constitue l'un des moyens de rectifier ou d'enrichir une technique. C'est encore aux hommes que revient la responsabilité de guider les opérations nouvelles, de signaler des astuces techniques par des remarques régulières lors de leur passage sur des parcelles féminines. Mais selon quelques femmes, c'est avec le temps, l'habitude qu'une relative liberté de choix peut être conquise. Des projets d'aménagement des parcelles (associer la kumba au gombo par

exemple) sont énoncés mais supposent de la part des agricultrices une maîtrise forcément progressive du jardinage et de tous les savoir-faire qui complètent en définitive l'ensemble des savoir-faire normatifs qui leurs ont été transmis par les hommes, dans l'espace des jardins et sur les végétaux en question. Toutefois, les projets énoncés par les agricultrices révèlent une volonté de diversification des ressources du jardin, en y implantant notamment des variétés végétales de plantes plus anciennes cultivées sur d'autres types d'espaces. L'objectif n'est pas tant de vendre que d'accroître la production de végétaux utiles dans la consommation alimentaire quotidienne (le gombo est très utilisé dans cette région où il constitue un élément indispensable de la sauce).

Pour l'heure, rien n'indique l'émergence d'une spécialisation féminine dans le jardinage qui permettrait à certaines d'entre elles de s'y consacrer pleinement pendant toute la saison sèche. Parce qu'elles ne maîtrisent pas toute la chaîne opératoire, parce qu'elles ne contrôlent pas la totalité des produits ni leur diffusion, parce qu'elles ne gèrent pas seules les revenus des ventes, les agricultrices de Munisaka ne réunissent pas toutes les conditions techniques et économiques permettant de les identifier dans un réseau de professionnelles. Néanmoins, les modalités actuelles de diffusion du jardinage¹¹, le processus inévitable d'acquisition de savoir-faire par les femmes et leur discours sur le jardinage aujourd'hui permettent d'envisager l'émergence d'une identité professionnelle partagée par les hommes et les femmes qui interviennent au cœur des jardins, identité qui serait étroitement liée à la vocation commerciale de l'activité avant tout.

CONCLUSION

L'analyse particulière du jardinage nous montre en définitive plusieurs choses :

- Que les mouvements de populations, aussi restreints soient-ils, en ne concernant par exemple qu'une catégorie d'hommes dans une société, sont à l'origine d'une hétérogénéité des systèmes de culture et des savoir-faire qui s'appuie sur un triple processus d'emprunts, d'interprétation locale et de combinaison originale entre éléments autochtones (traditionnels) et éléments allochtones (empruntés).
- Que l'innovation identifiée ici à travers la mise en place d'un nouveau système de culture, issue d'un emprunt technique et non d'un transfert, peut être un processus isolé, dont l'accès est interdit à une majorité d'acteurs sociaux, du fait de conditions historiques, foncières, sociales, symboliques et économiques.
- Mais l'accès à une nouveauté, à un nouveau système de culture n'est pas réglementé de manière définitive. Quand les conditions du milieu varient, les droits d'accès à la nouveauté se modifient. Dans notre étude de cas, c'est au bout d'une quarantaine d'années que les épouses de jardiniers ont accès aux jardins et à ses productions.
- L'accès à un nouveau système de culture, pour les agricultrices au moins, ne s'accompagne pas forcément d'un processus d'apprentissage recouvrant tous les savoir-faire qui s'y rattachent et n'entraîne donc pas systématiquement une maîtrise du savoir complexe qui caractérise toujours la gestion d'une ressource : la transmission des savoir-faire liés à la culture de la kumba est partielle, essentiellement normative, limitée à des prescriptions concernant les actes techniques sur la matière et non les critères d'évaluation des différents états de la matière. Ce constat a été établi lors de cette étude autour du jardinage mais aussi pour d'autres pratiques (la céramique, la cuisine) et au sein d'unités sociales apparemment homogènes (les femmes). De ce fait, la maîtrise des variations possibles, des aléas, des contraintes, qui déterminent l'évolution de la ressource et le résultat de la production, n'est jamais immédiate et se construit à travers un lent processus de familiarisation et d'expériences comparatives.
- Enfin, le cas particulier du jardinage à Munisaka met en évidence un itinéraire technique connu des hommes et nouveau pour les femmes, sachant qu'ailleurs la même chaîne opératoire peut être proposée aux femmes par des institutions de développement. De plus, à Munisaka (comme ailleurs sans doute), l'accès à de nouveaux savoir-faire pour les femmes (et comme pour les agriculteurs-emprunteurs des années cinquante), suppose une modification de l'organisation du travail quotidien (et pas seulement du travail agricole) que seules les plus âgées semblent pouvoir réaliser.

¹¹ On fait référence ici aux encouragements des pouvoirs publics à développer le maraîchage comme complément alimentaire et économique de la production vivrière.

L'innovation n'est donc pas accessible à tous. Les statuts matrimoniaux, politiques ou économiques, tout comme l'âge ou les contraintes foncières et symboliques, constituent des facteurs dont il faut tenir compte pour comprendre l'envergure d'une adoption technique ou les limites à l'extension (à la généralisation) d'une pratique nouvelle et, ce, quel que soit le degré d'appréciation (d'adhésion) des individus.

- Promouvoir le jardinage ou le maraîchage, c'est à dire la mise en valeur des bas-fonds par une agriculture de contre-saison associant plusieurs espèces végétales valorisées, constitue une procédure particulière qui doit forcément tenir compte d'au moins trois ordres de faits : l'état du milieu naturel, le niveau des savoir-faire locaux dans ce type de gestion des ressources végétales, mais aussi les règles d'accès à ce milieu et aux savoir-faire qui se rattachent à sa gestion. Car la transmission d'un savoir-faire nouveau n'est jamais un processus simple et uniforme de diffusion (ou de généralisation) d'un système d'informations homogène.

D'une manière plus générale et depuis les analyses proposées par P. Richards (1985), la spécificité du savoir dans des groupes souvent réduits, comme réponses à des contraintes écologiques locales, ou comme réponses à des opportunités économiques, est reconnue, régulièrement objet de recherches et d'études. Il est désormais évident que toute intervention pour le développement agricole ou une amélioration des ressources naturelles locales passe nécessairement par une connaissance préalable des perceptions, des savoir-faire et des initiatives des paysans, non seulement dans le temps de l'intervention mais aussi d'un point de vue historique.

Cette orientation est aujourd'hui celle qu'adoptent bon nombre d'institutions de développement, sous le label « participatif » notamment, et avec toutes les dérivations conceptuelles et pratiques que ce concept peut suggérer. Certaines institutions formalisent aujourd'hui cette valorisation des savoir-faire locaux à travers des méthodes de recueil, de traitement et de confrontation du savoir paysan au savoir scientifique des spécialistes, ou à travers des méthodes de communication permettant de mettre en évidence des besoins, des revendications, qui, pour la plupart, débouchent sur des projets de formation localisés.

Ces démarches revendiquent toutes une ouverture au dialogue avec les agriculteurs et l'usage d'outils méthodologiques adaptés, permettant de maîtriser, ou même de canaliser, les conflits d'intérêt, les rivalités entre personnes ou entre groupes, les cloisonnements symboliques entre catégories sociales différenciées, qui s'expriment inévitablement dès lors que l'on s'intéresse à une société, à son organisation, à son histoire, à ses logiques et à ses savoir-faire.

Au delà des problèmes posés par l'intervention institutionnelle d'organismes spécialisés qui formalisent une démarche populiste et prônent une reconnaissance des logiques et du savoir paysans, l'intérêt porté aujourd'hui aux savoir-faire, aux capacités locales d'innover et de maîtriser les changements engage de nouvelles procédures de travail sur le terrain. L'expert (qu'il soit membre d'une organisation internationale ou cadre d'une administration locale nationale), spécialiste d'un transfert technique, détenteur d'un savoir formel dont la légitimité et l'universalité reposent a priori sur son caractère scientifique, s'efface petit à petit au profit du conseiller technique formé aux techniques de communication et capable de confronter son propre savoir aux données d'une réalité locale à multiples dimensions (écologiques, politiques, foncières, économiques, symboliques et cognitives).

De plus, toute intervention pour une action de développement local, orientée vers une meilleure gestion des ressources notamment, est toujours précédée d'une démarche exploratoire d'enquêtes. Celle-ci révèle la complexité des mouvements de peuplement des espaces, la précision des règles foncières, la variabilité des savoir-faire techniques en fonction des conditions climatiques, géographiques, mais aussi économiques et politiques. Tout intervenant doit donc désormais admettre qu'au cœur de son action en faveur d'une innovation se situe toujours une analyse historique des logiques paysannes inscrites dans un environnement (écologique, politique ou économique) évolutif. Cette disposition préalable devrait théoriquement permettre d'éviter les raisonnements parfois mécanistes de tous ceux qui rattachent l'innovation au seul fait d'entreprendre ou au seul fait d'intégrer de manière homogène une initiative dans un tout défini préalablement (le système de production par exemple) ou encore qui rattachent l'innovation à des critères de performance mesurables sur un échantillon dit représentatif. Par ailleurs, prendre en considération, comme le prône P. Richards, les stratégies et savoir-faire des différents acteurs, est aussi une façon de révéler

l'inexactitude de certains points de vue scientifiques qui définissent comme négatives toutes les initiatives apparemment déviantes dans une logique rationnelle et prédictive du transfert technique.

Enfin, le recueil de savoir-faire et la compréhension des stratégies, qui s'expriment dans un groupe autour de ses ressources notamment, conduisent tout logiquement à tenir compte de la temporalité des sociétés paysannes¹². Car la capacité d'innover, l'innovation elle-même sont d'abord un processus avant d'être un résultat exprimable ou observable. C'est un processus d'intériorisation qui varie en permanence, fluctuant si j'ose dire, au gré de variations multiples (écologiques, mais aussi, comme à Munisaka, économiques et sociales).

De la même manière, les stratégies individuelles et collectives, c'est-à-dire l'ensemble des choix raisonnés énoncés par des individus et donnant lieu à des actes précis (sélection de variétés végétales par exemple, distribution des ressources et des hommes sur un certain type d'espace, répartition des espèces cultivées et des savoir-faire techniques en fonction de distinctions sexuelles ou en fonction d'espaces précis), constituent des variables évolutives qui s'appuient en grande partie sur une histoire locale, qui mêle événements et trajectoires, règles traditionnelles et construction d'identités.

En 1989, d'autres jardins naissaient en amont du bas-fond de Bidi dans un quartier qui bénéficie lui aussi d'un milieu écologique favorable¹³. Quelques femmes ont pris l'initiative de cultiver elles aussi des aubergines amères, dans des petits jardins façonnés avec l'aide d'alliés masculins. Dans le même temps à Munisaka, on prévoyait une augmentation du nombre d'agricultrices participant à l'entretien des jardins. L'accroissement consécutif de la production d'aubergines n'était pas perçu comme un obstacle puisque les produits du jardinage, comme ceux des vergers, sont destinés à l'exportation par le biais des revendeurs.

Le groupe technique des «jardiniers» évolue donc dans les limites imposées par les contraintes foncières et écologiques notamment. Hommes et femmes construisent et partagent autour de cette activité nouvelle une identité professionnelle qui les engage vers la création d'organisations paysannes pour consolider leur statut, mais aussi vers la recherche de solutions techniques permettant d'améliorer leurs productions et de valoriser au mieux toutes les ressources du bas-fond. La maîtrise des savoir-faire étant assurée au moins par un groupe.

BIBLIOGRAPHIE

- Cresswell R. Technologie. In Cresswell (éd.). *Éléments d'ethnologie*, vol. II. Ed. A. Colin, Paris.
- Dory, D., 1982. Recherche anthropologique et analyse des écosystèmes. *Cahiers marxistes*, n°105.
- Dupré G., 1996. Y a-t-il des ressources naturelles ? *Cahiers des Sciences humaines*, éd. ORSTOM, Paris, vol. 32, n°1 : 17-27.
- Haudricourt A.G., 1987. La technologie, science humaine, recherches d'histoire et d'ethnologie des techniques. Ed. de la MSH.
- Haudricourt A.G., Hedin L., 1987 (prem. Ed. 1943). *L'homme et les plantes cultivées*. éd. A.M. Métailié, Paris.
- Izard, M., 1985. *Gens du pouvoir, gens de la terre*. Cambridge University Press, éd. de la MSH, Paris.
- Lamachère J.M., Maïzi P., Serpantié G., Zombre P., 1991. Fonctionnement et aménagement d'un petit bas-fond soudano-sahélien (Bidi, Yatenga, Burkina Faso). Communication au Séminaire International de Tananarive : Bas-fonds et riziculture, 9 - 14 décembre 1991, doc. Ronéo., ORSTOM Ouagadougou.

¹² La temporalité des sociétés nous renvoie d'ailleurs à la temporalité écologique puisque, on le sait, toute formation écologique tend à se développer de manière cyclique : une formation écologique (animale ou végétale) n'est jamais immuable ; elle se développe, atteint un seuil que l'on pourrait dire culminant, puis régresse. Cette temporalité est mesurable à l'échelle de l'histoire planétaire des écosystèmes, tandis que la temporalité des sociétés ne l'est pas forcément, sinon en référence à quelques grands événements que la mémoire collective a bien voulu retenir.

¹³ Le quartier concerné, Gurga, se situe sur la zone centrale du bas-fond qui traverse le village de Bidi. Cette zone centrale occupe 4% de la surface du territoire villageois, mais seulement 12% du domaine cultivable (Lamachère, Maïzi, Serpantié, Zombre, 1991).

- Luxereau A. Usages, représentations, évolution de la biodiversité végétale chez les haoussa du Niger. Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée, nouvelle série, vol. XXXVI (2) : 67 - 85.
- Lévêque, C. Environnement et diversité du vivant. Coll. Explora, éd. ORSTOM, Pocket Sciences, Paris, 1995
- Martinelli B., 1987. La fin et les moyens. L'ethnologie et l'intervention technologique. L'uomo, vol. XI (2) : 320 - 339.
- Richards, P. 1985. Indigenous agricultural revolution. Hutchinson and co publisher, LTD, 192 pages.
- Weigel, J.Y, 1996. Grandes manoeuvres autour des ressources naturelles renouvelables. Cahiers des Sciences Humaines, éd. ORSTOM, Paris, vol. 32, n°1 : 3-14.

THE IMPORTANCE OF PLANTS IN THE LIVELIHOODS OF RURAL VILLAGERS

A CASE STUDY OF THE TSWAPONG HILLS, BOTSWANA

Robinson S., Hill K., Bunting A., Pellegrin S. *, Rossiter S., Mason T.

**Contact: ICRF Cancer Medicine Research Unit, St James's University Hospital, Beckett Street, Leeds LS9 7TF, UK - Email: mrpsp@cancermed.leeds.ac.uk*

ABSTRACT

This paper reports on a quantitative study on the use of wild fruits by people living in villages in the Tswapong Hills. It is part of a larger study of the potential of this area, conducted by the authors for the Kalahari Conservation Society. A list of the twenty most important veld products is shown, and although it was found that none were particularly important nutritionally, some were important economically. Five of these fruits are discussed in detail: *Grewia* spp., *Sclerocarya birrea caffra*, *Mimusops zeyheri*, *Vangueria infausta* and *Strychnos* spp. The relative importance of veld products was higher for those families which owned few or no cattle, or who had land or labour shortages, and thus could not produce crop surpluses to sell. The sale of veld products was useful to villagers, women especially, because it provided them with a source of income. The potential for domestication of indigenous fruit trees is discussed, as is the potential for their commercialisation. Barriers to this include the long term investments of time and money that are needed, the overriding importance of cattle to the culture and economy, and problems associated with marketing.

INTRODUCTION

The majority of Botswana's population is rural, inhabiting villages in the eastern part of the country. Village dwellers rely on arable agriculture for their food, and in addition to owning a compound within the village, most families own a plot of land or « masimo », which is typically located several kilometres away. Many people also own livestock, such as donkeys, goats, and cattle. Those villagers who own significant numbers of cattle, often have a third home or « cattle post », which can be far away from the village.

Botswana's 2.6 million cattle, and rapidly expanding human population, are together placing enormous demands on finite and often scarce natural resources (Campbell, 1990). Such pressures are exacerbating the existing problems of land degradation and soil erosion, leading to desertification and bush encroachment. For this and other reasons, the government is promoting the notion of sustainable development, and calling for diversification away from cattle ranging, and into new spheres of sustained natural resource utilisation.

The Tswapong Hills lie in eastern Botswana, between the town of Palapye and the Limpopo River on the South African border. Botswana's capital city, Gaborone, is located approximately 350 km to the south of the hills. The hills are an area of considerable potential, which to date have remained largely undeveloped. They represent a unique biogeographical environment covering an area of about 50 000 ha. The population of 25 000 is divided between seventeen villages, which surround the hills, and which range in size from approximately 200 to 5 700 people. It comprises a diverse and abundant vegetation, natural springs and gorges, as well as a rich fauna and many archaeological sites. All these features, if properly developed, could benefit the local communities.

Veld products are those plant and animal species which naturally occur in the wild and which are in some way used by people. Many of these are eaten or used as medicines, and plants especially play an important role in the livelihoods of villagers of the Tswapong Hills. If communities are to make more use of their veld products, it is important to gather information on the current distribution and abundance of important plant species. This was achieved by carrying out detailed vegetation surveys in sections of the hills, as this had not previously been done in the area. Equally important is a thorough understanding of the present significance of veld products in people's lives. Therefore socio-economic sampling was undertaken to establish the extent to which veld products were already collected, used, bought and sold, as well as to ascertain their economic value. This paper examines the

nutritional and economic importance of indigenous plants in the lives of villagers from the study area, and discusses their potential.

METHODS

Interviews

Semi-structured interviews on a one to one basis were the main method of gathering information. These were conducted with the help of local interpreters. The approach was informal, and while a rigid questionnaire was not used, the questions focused on collecting the following information:

- Which fruits were used.
- When and from where they were collected.
- Processing and storage, whether they were sold and where.
- Information about markets, and relative economic importance compared to other sources of income.

All the activities carried out by villagers, including those involved with veld product collection and marketing, were integrated into a seasonal calendar on the basis of these interviews in order to illustrate the time conflicts between activities. If products were sold, people were asked to rank their economic importance compared to other sources of income. This included drawing pie charts in order to get an idea of the relative financial importance of each product. People were also asked whether they manufactured or sold crafts made from local materials. This was done to find out which plants were important in this industry.

Open Meetings

These were held at the « Kgotla » (traditional village meeting place) and everybody in the village was invited to attend. They were held to allow villagers to discuss veld products as well as sharing and analysing local knowledge. Attendants were asked to list all edible veld products used, and these were then ranked according to importance, using a voting system.

Informal walks

These were carried out to give villagers the opportunity to indicate the important plant species. Removal of specimens for taxonomic identification allowed the Setswana names given by villagers to be matched with the scientific name.

RESULTS

A total of 230 people were interviewed, from the villages of Majwaneng, Lerala, Ratholo, Sekgweng and Moremi. Approximately two thirds of this number were women, as men were often absent from the compounds, or preferred their wives to answer questions.

Crafts were found not to be an important source of income in the Tswapong Hills, and only a handful of older people still knew how to make items such as baskets or pots. Villagers considered edible veld products to be far more important. Children were found to be the main consumers of unprocessed veld products, and probably derive the greatest nutritional benefit from them. Adults stated that veld products were not an essential component of their diets and were used more as a supplement to other foods.

Even during drought years, people do not have to rely on wild foods as drought relief payments are provided by the government in return for manual labour. This drought relief is a permanent system also available in non-drought years, such as the year of this study (1996). Despite the existence of these programmes, many respondents said that the sale of veld products represented a useful source of income to them.

In Botswana, everybody is entitled to a plot of land, which is cultivated to provide all staple food for the family. Crops grown include maize, sorghum, spinach, beans, and watermelons. Most of the produce grown was for home consumption, but any surpluses could be sold to the government. Additionally, people sold sorghum beer and watermelon beer to supplement their income.

The villagers were asked to assess the importance of veld products in relation to cattle and land. Respondents ranked activities both according to time spent on each per year and the relative amount of income generated. Livestock and land appeared to be economically equal in importance for those people who had both.

Even the most important veld products, such as Phane, Morula beer and Mogwana beer, were financially ranked well below livestock and land in importance. The time spent gathering and selling veld products was much shorter than that spent at the lands or tending cattle. Selling and gathering of veld products was sporadic and usually took up to a couple of days a week, or a short time every day during a limited period in the year.

Veld products are typically collected, processed and sold by women, and those sectors of the population which gain most benefit from veld products are families without cattle or crop surpluses which can be sold to the government. For these people, veld products may be the only source of cash. The most common uses for the money made from the sale of veld products was to buy soap, candles, and school books and uniforms for children.

Once collected, the fruits were often sold far afield in towns, the main obstacles being a lack of transport and accommodation. In order to afford transport costs people carried enough fruit to sell over several days. Fruit sellers depended on relatives to provide accommodation in the towns. Therefore, if the seller did not have relatives in a town, they had no access to markets in that area.

By far, the most common form of processing was the making of beer, which was only sold locally due to transport and storage difficulties. Traditionally brewed beers have a maximum storage time of about one week. Despite these limitations, the selling of beer provided the villagers with a substantial percentage of the money generated from veld products.

As can be seen from the tables 1 and 2, the results from the Kgotla meetings are noticeably different from the results of the interviews. Also, opinions varied between different villages. This is probably a reflection of fluctuations in the availability, market and preference of veld products between the surveyed villages. However, the general opinion across the area studied was similar, as in both tables the top five species are the same.

Tables 1 and 2 - Below are two tables showing the ranking of the top 20 veld products in order of preference.

Table 1: The twenty most important edible plant products mentioned during the interviews. (Table 1 was constructed using data collected in interviews from the five villages studied. The percentage of people asked who ate each product and its ranked position are shown)

Latin name	Local name	Percentage of respondents who mentioned eating product	Rank
<i>Mimusops zeyheri</i>	Mompudu	62.2	1
<i>Grewia bicolor</i>	Mogwana	61.7	2
<i>Sclerocarya birrea caffra</i>	Morula	53.0	3
<i>Vangueria infausta</i>	Mmilo	37.0	4
<i>Grewia flavescens</i>	Motsotsojane	24.3	5
<i>Strychnos spinosa</i>	Mogorogorwane	21.3	6
<i>Strychnos cocculoides</i>	Moruda	19.6	7
<i>Ximenia</i> spp. (<i>X. americana</i> & <i>X. caffra</i>)	Moretologa	16.5	8
<i>Strychnos pungens</i>	Mogwagwa	16.1	9
<i>Adansonia digitata</i>	Mowana	14.3	10
<i>Boscia albitrunca</i>	Motlopi	13.5	11
<i>Grewia flava</i>	Moretlwa	12.2	12
<i>Berchemia zeyheri</i>	Monyee	10.4	13
<i>Securinega virosa</i>	Motatang	10.0	14
<i>Ziziphus mucronata</i>	Mokgalo	8.7	15
<i>Azanza garckeana</i>	Morojwa	7.8	16
<i>Cissus cornifolia</i>	Mogogo	7.4	17
<i>Ficus</i> spp. (<i>F. sur</i> & <i>F. abutilifolia</i>)	Mokoyo	7.4	18
Not yet identified.	Mosade	4.8	19
Not yet identified.	Lerophela	3.0	20

Table 2: The twenty most important edible plant products voted for at the open Kgotla meetings.

(Table 2 was compiled from the results of the voting in the open village meetings, the percentages represent the number of people out of the total present voting for each fruit. The villagers were asked to vote according to the importance of the product, this being a combination of both nutritional and economic value. Results are shown for the three villages where meetings were held, and the products are ranked according to the average of these three villages.)

Latin name	Local name	Votes in Ratholo (as%)	Votes in Sekgweng (as%)	Votes in Moremi (as%)	Average	Rank
<i>Sclerocarya birrea caffra</i>	Morula	82.9	75.7	85.0	81.2	1
<i>Grewia bicolor</i>	Mogwana/Monaba	82.9	83.9	70.0	78.9	2
<i>Mimusops zeyheri</i>	Mompudu	68.6	70.3	50.0	63.0	3
<i>Grewia flavescens</i>	Motsotsojane	48.6	8.1	80.0	45.4	4
<i>Vangueria infausta</i>	Mmilo	54.3	45.9	30.0	43.4	5
<i>Grewia</i> sp.	Moseme	0.0	27.0	70.0	32.3	6
Not yet identified. (Mushroom)	Mabowa	0.0	16.2	25.0	30.4	7
<i>Aloe</i> sp.	Sekgopha	0.0	0.0	65.0	21.7	8
Not yet identified. (Leaves are eaten)	Rothwe	0.0	62.2	0.0	20.7	9
<i>Boscia albitrunca</i>	Motlopi	57.1	0.0	0.0	19.0	10
<i>Adansonia digitata</i>	Mowana	51.4	0.0	0.0	17.1	11
<i>Azanza garckeana</i>	Morojwa	45.7	0.0	0.0	15.2	12
<i>Grewia avellana</i>	Magaro-a-barwa	0.11	37.8	0.5	12.8	13
<i>Lippia javanica</i>	Mosukujane	25.7	0.0	0.0	8.6	14
<i>Amaranthus thunbergii</i>	Thepe	0.0	24.3	0.0	8.1	15
<i>Strychnos spinosa</i>	Mogorogorwane	0.2	21.6	0.0	7.3	16
<i>Strychnos cocculoides</i>	Moruda	0.0	21.6	0.0	7.2	17
<i>Ziziphus mucronata</i>	Mokgalo	0.0	21.6	0.0	7.2	17
<i>Grewia flava</i>	Moretlwa	0.0	8.1	0.0	2.7	18
<i>Securinega virosa</i>	Motatang	0.2	5.4	0.0	1.9	19

The caterpillar of the moth *Imbarasia belina*, locally known as phane, was often mentioned by villagers as being an important veld product. At open meetings it was often ranked second amongst the other edible veld products. However, these are not discussed here as a detailed study has recently been carried out by the Natural Resources Management Project (NRMP) (NRMP, pers. comm.), and the purpose of this paper is to examine fruit based veld products.

This paper will concentrate on the five most important species. These were *Grewia* spp., *Sclerocarya birrea caffra*, *Mimusops zeyheri*, *Vangueria infausta*, and *Strychnos* spp. *Strychnos* spp., were not perceived to be very important in the Kgotla meetings, however they were among the top five eaten products (Table 1), and were one of the few products which were sold. They are also the subject of a breeding programme at Veld Products Research, an NGO in Gaborone (Frank Taylor, pers. comm.). Each of these five fruits is discussed in turn below.

Economics of selling veld products and problems encountered during interviews

Gauging the financial importance of veld products was difficult because villagers did not think in terms of money made per week or per annum. Quantities of product sold and profits made were not monitored by the villagers. Often veld products were bartered for non-monetary goods, and a percentage was just given away to friends. The fruits were taken to towns to be sold in « 50 kg bags », which were used as a measure of volume and not weight. Some people claimed to fill many of these bags in a season, but due to variation in what was defined as a « 50 kg bag » it was hard to compare people's harvests. Additionally, other measures of volume were used that were hard to standardise,

for example buckets, paint pots and cups. All these factors led to difficulties in trying to quantify the amounts of products being used. The tendency was to over estimate the amounts collected.

In interviews villagers gave figures for the amounts of product they sold per week and for how many weeks they sold it per year. The economic importance of veld products was only calculated from the results of interviews with women because, in the family unit, sale of veld products was almost solely carried out by the women. This allowed the output of each family unit to be quantified. In total 158 women were interviewed during the study. The percentage of women selling a given veld product as well as the amount sold per year are given for each fruit discussed below. These amounts can be thought of as maximum or potential figures if it is assumed that most people questioned tended to overestimate the amounts of product they were collecting.

Comparison of the amount of money which can be made from veld products with the money available from drought relief is useful because it shows whether people have an incentive to collect veld products as opposed to working for drought relief. At the time of the study, 6 Pula was paid per day for drought relief work, this is roughly equivalent to £1(UK) per day.

***Grewia* spp. (Mogwana)**

These are common shrubs which typically grow to between 0.5 and 3.0 metres in height. The fruits are small berries which may be one to four lobed and vary in size between species (about 5-10 mm across). They were readily eaten by villagers as well as being sold and used to make beer. The species found in the Tswapong Hills were: *G. bicolor*, *G. flavescens*, *G. flava*, and *G. avellana*. Of these the most commonly used was *Grewia bicolor* locally known as « mogwana » (mogwana is also a generic term for all *Grewia* species).

The fruit is very important as it is easily stored allowing the beer and fruit to be available throughout the year. Many of the other fruits available in the Tswapong Hills area are not stored and tend to ripen during the times of the year when people are busy at their lands. People often wait until August, which is the least busy time of the year, to sell fruit in towns, combining this with a visit to see relatives. The fruits are sold for approximately 4 Pula per kg so selling one 50 kg bag of berries in Palapye pays between 12.5 and 50 times the transport cost, depending on which village the seller is travelling from, and therefore it can be very profitable. The fruit can be transported easily, and are commonly sold in towns such as Palapye or Selebi Pikwe; some people would travel 350 km to Gaborone to sell *Grewia* spp. The towns of Palapye and Selebi Pikwe were between 50 km and 100 km away, depending on the village, and transport costs varied between 4 and 16 Pula for a return journey. Whilst transport to Gaborone cost between 35 and 46 Pula return. Assuming the often quoted figures of one week to collect the berries and one week to sell 50 kg, then 14 Pula are made per day during this time, which is more than double the money that the equivalent drought relief work would pay, even when transport is taken into account. 27.8% of women interviewed sold the fruit of one of the *Grewia* spp, and for those women the maximum amounts sold per year ranged from 7.5 to 200 kg, with an average of 67 kg.

Mogwana Beer, or Kgadi, was fermented in drums of between 80 and 250 l, using a mixture of fruit, brown sugar and water. 25.9% of the women sold it around their compound to casual visitors for 10 thebe per 330 ml cup, (about 0.3 Pula/litre). On average the estimate for the amount of beer a seller made in a year was 1 980 litres (38 litres per week). However dregs make up probably at least 10% of the volume of beer made and reduce the amount sold. Allowing for 10% of the beer not being drunk and the cost of the sugar and fruit a return of roughly 350 Pula per year was estimated (the actual figures ranged between 10 and 1 080 Pula). Most people collected the fruit themselves, so returns were probably higher than this. The time taken to make the beer was relatively short when compared with the time taken to collect the fruit and sell the end product. Bishop and Scoones (1994) obtained figures for returns from Kgadi production in villages in Ngamilands in northern Botswana where beer is made and sold in much the same way as in the Tswapong Hills. They estimated that the return from making and selling Kgadi was twice that from drought relief per hour worked.

From the pie charts of income it was estimated that the combined sale of Mogwana beer and fruit provided women with between 15% and 50% of their income, however this figure does not include the money which families can earn from the sale of cattle. In Botswana, the number of cattle owned by a family reflects its status so people are reluctant to sell them unless they really need to.

Grewia spp. were the most abundant fruit in the hills, and were extremely under-utilised as much is not harvested, even in areas close to the village. According to Taylor (1982) the market potential of this fruit in urban Botswana is « very substantial », as demand far exceeds supply. There is said to be a better market in the larger towns of Gaborone and Francistown as there are fewer sellers there, and a greater demand. However villagers without relatives in towns cannot sell as they have no-where to stay. No noticeable difference in price was observed between the Tswapong villages, Gaborone, and Palapye.

***Sclerocarya birrea caffra* (Morula)**

The commercialisation of the fruit and nut of this tree are currently the subject of much interest in Southern Africa. The fruit has a vitamin C content four times higher than that of oranges and high value oil can be extracted from the protein rich nut (Moss, 1988).

These are the only trees which are not felled when woodlands are cleared to create arable land, and they are also common in and around village compounds. The fruit is very easily collected and is available between December and February. This is a very busy period for the villagers as it is the time when they weed, protect crops from birds and cattle, and collect Phane worms for sale. As the fruit cannot be stored, this is also the time of year when Morula jam and beer are made. It is only the processed products of Morula which have any monetary value, therefore the benefits gained from Morula depend on the time available for the processing of the fruit. Morula jam can be stored, and despite being easy to make, was only made by three of the respondents in the survey. Morula beer was the most common processed veld product, being made by 52% of all women interviewed.

However, because the fruit are more perishable, the returns tended to be lower than those from *Grewia* spp., and the average amount of money made in a season (and therefore throughout a year) was about 220 Pula. Indeed, the beer was sold at 0.3 Pula/litre and on average 740 litres were sold per year. Pie charts of income suggested that Morula beer generally provided women with between 10% and 25% of their income, however two respondents stated that it provided them with 100% of their income. Morula's popularity was probably due to the fact that people have trees in their yards and at their lands, and collecting the fallen fruit is very quick and easy.

The Morula nut, locally known as Dicheru, can be stored for up to a year. It is easily transported, but removing the nut from the stone is very time consuming. For this reason, income from these nuts was fairly low in comparison with their potential. Only 13.3% of women asked sold it, although all the women who make beer would presumably have had a large supply of the nuts. The greatest estimate given for income from Dicheru was 100 Pula a year. Gumbo *et al.* (1990) have estimated that it takes 24 working hours to fill one 800 g tin of Dicheru. In the Tswapong Hills, such an amount was sold for less than 4 Pula, and so returns are much lower than could be gained from the equivalent time spent working for drought relief.

***Mimusops zeyheri* (Mompudu)**

This tree bears a small yellow berry approximately 2.5 x 5 cm in size. It has high vitamin C content (Coates Palgrave, 1993) and is harvested between September and December. The fruit cannot be stored and is time consuming to collect, because it is dispersed in the hills surrounding the villages. Despite these drawbacks, 31% of the women asked walked the 2-3 hours required to collect the fruit, as it is popular in towns and easily sold. Like *Grewia* fruit it was sold for about 4 Pula per kg. The average income from the sale of the fruit was just less than 300 Pula per year (not including transport costs). The fruit can be ground and dried to make a storable product called Sesema. However, this was not found to be widely practised.

***Vangueria infausta* (Mmilo)**

This is a round fruit of approximately 2 to 4 cm in diameter. Like Mompudu it is found in the hills rather than around the villages. It was sold by about 10% of the women asked, at 0.05 or 0.1 Pula per fruit, and in one village people walked for 2-3 hours to collect the fruit. It was not clear why villagers considered this veld product to be less important than Mompudu as it appeared that it was more palatable, and according to vegetation surveys of the area, (Rossiter *et al.*, 1996) was equally as

abundant. However, Mmilo is a more perishable fruit and when carried in sacks squashes easily. It is also possible that *Mimusops zeyheri* may have a higher yield of fruit per tree.

***Strychnos* spp. (Moruda, Mogwagwa, and Mogorogorwane)**

In the Tswapong Hills, the *Strychnos* species encountered were *S. madagascariensis*, *S. pungens*, *S. cocculoides* and *S. spinosa*. The fruit have a large woody shell, up to 12 cm across, and inside are not unlike oranges, although they can be very bitter if unripe. Being like oranges, and quite common around certain villages it was surprising that they were not more popular. However, if eaten unripe the fruit can cause vomiting, and many have maggots inside. Additionally, the fruit of some species have to be stored for some time before they are ripe. These factors may affect the popularity of the fruits. They were found to only be sold by 6.3% of the women interviewed, and the selling price varied greatly between 10 thebe and 1 Pula per fruit

DISCUSSION

Overall, the main observation to be made was that wild fruits were not nutritionally very important to people in the Tswapong Hills area. Most sustenance was obtained from the crops grown at the lands. Additionally, in drought years aid is provided by the government. Therefore, most people do not rely heavily on veld products as a source of nutrition. However, for many people in the villages, they represented an important economic resource.

Economically, cattle are still the most important source of income. For those with enough land and labour, surplus crops can be produced which can be sold to the government, or used to make saleable products such as sorghum beer or melon beer. Therefore, those who benefit most from veld products are those with few or no cattle, or without the ability to produce surpluses from their land to sell. Even for those without cattle or land, veld products did not constitute an important source of food as work was available in the form of drought relief, and support was often available from family or friends. However, for such people the sale of veld products may supplement, or even be more profitable than drought relief. Mogwana fruit and beers, and almost certainly Morula beer and Mompudu yield more money per amount of time expended, than drought relief. However the sale of wild fruits and their products was often seasonal, and the selling of veld products outside the village community may not be practical for long periods of time due to accommodation problems.

It must be remembered that in the Tswapong Hills villagers do not have the option of making crafts such as baskets for tourists (unlike villagers in a similar study by Bishop and Scoones, 1994), because craft making has virtually died out, and there is little tourism in the area. Therefore veld products are at present very important in the Tswapong villages and the question which needs to be addressed is: What is their potential for future exploitation?

Exotic fruits and the domestication of indigenous fruit trees

Of all domesticated fruit trees, none are from Africa (B.M. Campbell, 1986). Trees that have been domesticated, such as Mango and Papaya, were developed from very much inferior fruits, but this occurred over very long periods of time. However, given sufficient time and money, there is no reason why some of the products mentioned above should not become household names. Programmes to improve propagation techniques and to use superior phenotypes to increase yield, palatability, and size of fruit are presently being conducted at Veld Products Research (Mateke, 1995 and 1996). Such research would be unlikely to occur at the village level because it is too long term to gain people's interest, and there is little funding available.

Gumbo *et al.* (1990) conducted a similar study to this in an area of Zimbabwe where indigenous fruit trees include many of the species mentioned here. They found that although, as in the Tswapong Hills, all trees in fields are indigenous, 90% of all those planted at home were exotic. The deliberate planting of exotic or indigenous trees at home for fruit was not common in the Tswapong area, and of the reasons quoted, the most common was termite infestation, or consumption by goats. In the Gumbo study, village nurseries existed where people could buy seedlings, and these had been encouraged by the government since the 1930's. In these villages the exotic fruits had a much higher cash value than

products from indigenous trees. As we have seen, the inverse is true in Tswapong villages because such fruits simply are not grown. However, interest is starting to be shown in at least one village, in the cultivation of exotic fruit trees. In this village (Maunatlala), exists a large area which is infested with Mogau (*Dichapetalum cymosum*), a herb which is poisonous to cattle. The inhabitants of the village conducted a meeting to decide what to do with the land, and voted to plant it with exotic fruit trees such as Lemon and Papaya, for sale.

One of the dangers that could result from this is that the perceived value of indigenous plants could be lost, and with it their potential benefits to the population. Indigenous trees have the advantage over exotics of being adapted to survive the drought conditions common in Southern Africa. Exotic trees require a lot of water, which can be a large problem in rural areas where the only water source is a bore hole or stand pipe. Indigenous trees also have many other uses besides the fruits that they bear, for example building materials and medicines, as well as the raw materials for processed products such as beer and oil. Cultivation of veld products could overcome the problems associated with their scattered distribution in the Tswapong Hills. The trees could be fenced, protecting the fruits from being eaten by Baboons and other animals and reducing the time involved in their collection. However, the problems involved with their commercialisation are more acute than for exotic fruits.

Commercialisation of veld products

Beer was the most commonly sold processed veld product, and there has been some discussion about the large scale production of such beers, for example Morula beer, and their subsequent sale in Britain (pers. comm., Natural Resources Management Project, Gaborone, Botswana). Before such a venture is considered for the Tswapong region, there is a need for research into the possibilities of large scale fruit production and into the market potential of such products. Gumbo *et al.* (1990) have reported that in areas of Zimbabwe religious taboos mean that people will not sell products from the Morula tree, but some families make beer and use it to pay work groups to help get over the labour shortage experienced during the peak periods of weeding, harvesting and ploughing. The absence of such religious taboos governing the sale of any veld products in Tswapong is an advantage for their commercialisation.

At the present time, in the Tswapong area the range of profitable processed veld products is limited to traditional beers, which are only sold locally. However, certain fruits, such as Morula, have a higher potential for processing than simply the manufacture of beer. The flesh of this fruit is very palatable and can be used to make jam, or fruit juice, both of which could be highly marketable (Taylor, 1982). The Morula nut has the potential to be commercialised internationally, and the oil which can be extracted from the kernel has both cosmetic potential and preservative qualities (Moss, 1988). Similarly, many other products derived from fruits have considerable marketing potential (Taylor, 1982 and Moss, 1988). If more research is conducted into ways of increasing the storage times of beers and other processed veld products, into the possibilities of jam and soft drink production, as well as processing techniques with the use of simple machinery, then veld products could become more profitable in rural Botswana, and the market for their processed products could be expanded further to an international level, through the medium of fair trade organisations.

In towns veld products are sold in the street, and in general the people most likely to buy them are those who come from rural areas and already have a taste for indigenous veld products. Exotic fruits are readily available in the supermarkets in towns, and as the younger generation spend more time in urban areas, they are likely to lose interest in the less succulent indigenous fruits. As exotic fruits become more widely available, and as the percentage of second or third generation town settlers increases, so the possibilities for marketing veld products in towns may decrease and there is a possibility that exotic fruits will replace the market for indigenous fruits in the rural as well as the urban areas.

One way to overcome these problems is by marketing veld products in such a way that they are attractive to people in towns. Ideas include attractive packaging of products for sale in supermarkets and the sale of products in South African townships where markets are large due to the influx of people from rural areas (Taylor, pers. comm.). This may not be needed for the more visually attractive veld products such as the *Strychnos* species, for example Gumbo *et al.* (1990) noted that in Zimbabwe some indigenous products would be in high demand where they were regarded as « exotic », and they

noted that the price of *Strychnos spinosa* increased considerably between a rural and an urban selling point, although we noticed that at present in Botswana this price difference between urban and rural areas has not occurred.

Barriers to increased use of veld products in Tswapong Hills

The government of Botswana is encouraging a move away from reliance on cattle for both economic and environmental reasons. With this in mind, it has set up Wildlife Management Areas (WMAs) (Parry, 1989) where cattle are banned but the villagers are encouraged to use the veld products and wildlife found there, through the medium of small private enterprises, and Community Based Natural Resource Management Projects (CBNRMPs).

The Tswapong Hills area is not located within a WMA so there is no immediate incentive to reduce cattle numbers. The most prominent members of most villages make large amounts of money from cattle, and the main alternative idea currently under discussion (and supported by the local MP) is tourism based around the area's unique and beautiful gorges and springs (Rossiter *et al.*, 1996). At present village markets are saturated, and beers have too short a shelf life to be transported to larger towns. Therefore, the products themselves need to be developed and so do the urban and international markets. The benefits from veld product cultivation will be accrued far in the future, and people are unlikely to think so long term. A Morula tree takes only 4 or 5 years to produce fruit, but can take 20-30 years to reach their maximum potential for fruit production (Gumbo *et al.*, 1990). Even if pilot products by organisations like Veld Products Research, Thusano Lefetsheng, or the Natural Resources Management Project can be shown to work, and grants become available for the setting up of long term projects in villages, there is still no guarantee that villagers will remain interested for long enough.

BIBLIOGRAPHY

- Campbell, A., (1990) The Nature of Botswana, A Guide to Conservation and Development. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) and Kalahari Conservation Society (KCS).
- Campbell, B.M., (1986) The importance of wild fruits for peasant households in Zimbabwe. Food and Nutrition, 12, No.1: 38-44
- Coates Palgrave, K., (1993) Trees of Southern Africa. Second Edition. Struik Publishers.
- Bishop, J. and Scoones, I., (1994) Beer and Baskets: The role of wild foods in agricultural systems. Hidden Harvest Project, Research Series Vol. 3, No.1. Sustainable Agriculture Programme of the International Institute of Environment and Development.
- Gumbo, D., Mukamuri, B. B., Muzondo, M. I., and Scoones, I. C., (1990) Indigenous and exotic fruit trees: why do people want to grow them? In: R.T. Prinsley (ed.) Agroforestry for sustainable production: Economic implications, pp185-214, Commonwealth Science Council, London.
- Moss, H., (1988) Under exploited food plants in Botswana. FAO, Rome.
- Mateke, S. M., (1995) Veld Products Research Annual Report, Horticultural Section.
- Mateke, S. M., (1996) Growing indigenous fruit trees in Botswana, the case of Morula (*Sclerocarya birrea*). Conservation News, September issue.
- Parry, D. C., (1989) The Wildlife Management Areas of Botswana. Msc Thesis, Tropical Resource Ecology, University of Botswana.
- Rossiter, S., Hill, K., Robinson, S., Pellegrin, S., Mason, T., and Bunting, A., (1996) The utilisation of veld products and assessment of the potential for tourism: A preliminary study of the Tswapong hills. Unpublished report for the Kalahari Conservation Society
- Taylor, F. W., (1982) Final report on the potential for commercial utilisation of veld products, Vols 1 and 2. Ministry of Commerce and Industry, Gaborone, Botswana.

CONSERVER DES PLANTES « QUI ONT DE L'UTILITE » (PAYS HAUSA, NIGER)

Luxereau A.

APSONAT, CNRS-MNHN, Paris

L'analyse anthropologique portant sur les relations qu'entretient un groupe avec sa nature vise à comprendre comment il la perçoit et l'ordonne, quelle place lui est assignée vis-à-vis des hommes, comment il l'utilise et la transforme. Les outils mis en oeuvre partent du vernaculaire : analyse des catégories, des perceptions et des savoirs des acteurs ; observation des pratiques techniques et symboliques confrontées aux discours qui les sous-tendent ; analyse de leurs évolutions en relation avec le fonctionnement global de la société, c'est-à-dire son organisation sociale, politique, économique ; mise en relation des savoirs locaux et scientifiques, afin de tenir compte des caractéristiques biologiques des plantes, des animaux et des milieux et repérer les lieux de contrôle social dont ils peuvent être l'enjeu.

Cette orientation peut produire un décalage de sens entre anthropologues et naturalistes, notamment sur des notions telles que « conservation », « gestion » et ressources. Je m'attacherai dans un premier temps à les expliciter, avant d'analyser les transformations intervenues dans les attitudes des paysans hausa du sud Niger vis-à-vis de la flore surtout spontanée de leur environnement. Mon propos est, en effet, de mettre l'accent sur l'évolution des logiques paysannes et sur les recompositions du lien entre les représentations et les pratiques¹. Elle vont s'exprimer à travers les changements des attitudes vis-à-vis de la nature, différentes selon les époques, les contextes sociaux aussi bien qu'écologiques. Mon propos est aussi de montrer le danger de toute réification des cultures paysannes, souvent perçues comme « traditionnelles », immuables ou conservatrices, et, en matière d'action sur l'environnement, comme détentrices une fois pour toutes d'un savoir-faire favorisant la reproduction des écosystèmes et de la biodiversité ou au contraire minières.

GERER, CONSERVER : DES NOTIONS RELATIVES

Les préoccupations de conservation et de gestion des ressources biologiques - puis génétiques - ont été élaborées à partir d'analyses scientifiques établies à des échelles régionales et mondiales, permettant des projections à moyen ou long terme. Leur diffusion par les media, leur prise en compte par les politiques ont concouru à des retournements d'images concernant certains milieux² et à l'émergence de préoccupations nouvelles. En Afrique sahélo-soudanienne, la promotion d'actions de conservation (qui n'étaient pas alors pensées en terme de biodiversité) sont antérieures à la prise de conscience actuelle. Les archives coloniales contiennent de nombreux rapports signalant les destructions du couvert arboré et prédisant la dégradation des milieux physiques que ces essarts risquaient de générer. D'une manière générale, ces rapports stigmatisent « les pratiques des indigènes » qui agrandissent les surfaces cultivées au dépend de la brousse ; mais ils ne mentionnent guère les politiques coloniales qui, dans le même temps, ont incité au développement des cultures notamment d'exportation³.

Les forestiers français en poste outre-mer avaient déjà une culture professionnelle de la restauration des terrains dégradés, acquise en particulier dans les montagnes du sud de la France. Ils étaient particulièrement sensibles à ces phénomènes d'érosion déjà connus et déjà attribués à l'absence d'une

¹ Par représentations ou système de représentations, j'entends l'ensemble des idées et valeurs partagées qui légitiment des comportements. Elles vont porter, ici, sur une nature qui se transforme par l'action combinée de l'anthropisation et de l'évolution climatique. Parler de pratiques techniques et symboliques signifie que les chaînes opératoires sont la plupart du temps complexes et qu'une compétence symbolique peut être jugée indispensable à la réalisation du fait technique. Les processus techniques sont par ailleurs organisés socialement avec un contrôle sur l'accès au savoir, sur l'accès à la terre et aux végétaux qu'elle porte, sur les productions et donc les échanges.

² Comme, par exemple, les zones humides ou les forêts tropicales, valorisées au titre de conservatoires de la biodiversité alors qu'elles étaient perçues naguères comme insalubres et hostiles à l'homme.

³ Et qui amènent les paysans à essarter un champs supplémentaire cultivé en arachides et dénommé « champ de l'impôt ».

gestion des milieux - que l'on qualifierait aujourd'hui de « durable » - de la part des paysans français jugés « attardés ». Des méthodes analogues ont été préconisées ici et là. Les mises en défens de forêts « classées », les programmes de plantations massives ont abouti, au Niger, à la multiplication d'arbres souvent exotiques comme les cailcedrats, les kapokiers ou les neems⁴ mais également à des semis d'espèces locales comme *Faidherbia albida*.

Entre les scientifiques et les acteurs locaux, les perceptions et les savoirs sont décalés comme le sont les enjeux et les échelles d'espace et de temps. Au niveau de chaque société, ce qui est d'abord en jeu est sa capacité de se reproduire physiquement et socialement ; donc de préserver les bases et l'organisation matérielle de la survie. Si des individus et des groupes font en sorte que les activités de production qu'ils exercent puissent perdurer - mais aussi être améliorées, transformées - ceci n'implique pas ipso facto une préoccupation de conservation « en l'état » de l'environnement⁵. Les représentations que s'en font les acteurs sont fonction de besoins complexes (à la fois matériels, sociaux et religieux), des savoirs hérités, inventés ou empruntés, des techniques en usage, de la destination des productions, c'est-à-dire de l'environnement économique local et englobant.

Les stratégies peuvent s'élaborer sur le très court terme, c'est-à-dire la survie immédiate, ou le moyen terme, des projets concernant par exemple la génération à venir. Ils portent sur des espaces localisés, comme ceux du village ou de la région. Ils se construisent en fonction de sollicitations ou de contraintes aussi bien matérielles que sociales qui sont perçues globalement par la société, par les groupes ou par chaque producteur en fonction de son statut et de ses possibilités ; c'est à dire dans le cadre d'un système de pensée qui évolue et de règles socialement diversifiées. Enfin cela ne veut pas dire non plus que, face à une dégradation de l'environnement perçue comme telle, les acteurs aient les moyens techniques, économiques, intellectuels ou politiques d'y porter remède. Certaines activités « traditionnelles » permettent la reconstitution des milieux, d'autres sont au contraire minières, ou peuvent le devenir dans certains contextes sociaux ou écologiques ; c'est le cas du Niger.

De plus, si un groupe « conserve » des végétaux particuliers en fonction de besoins matériels ou idéels, cela ne signifie pas qu'il entend conserver une « ressource génétique ». Au Niger ces préoccupations concernent souvent des individus plutôt que des populations. Les arbres meurent, les milieux se transforment, les représentations évoluent et les besoins comme les moyens techniques se modifient. Pour illustrer ce propos, je prendrai l'exemple du sanctuaire d'un des plus grands rituels pré-islamiques du Gobir, près de Maradi. Du bosquet sacré originel, ne subsistent plus que 2 arbres dont un saucissonnier rarissime. Un *Celtis integrifolia* est mort de vieillesse et a été remplacé par un *Diospyros mespiliformis*. Un *Balanites aegyptiaca* a été détruit par des étrangers non hausas, co-utilisateurs de l'espace, qui ne lui attribuaient pas la même valeur et n'avaient aucune raison de le préserver. En revanche un neem a été planté récemment pour permettre le repérage exact de l'endroit de sacrifice. Ici le saucissonnier, ailleurs des arbres associés en particulier à l'histoire locale ou dotés, en tant qu'individu ou en tant qu'espèce, d'une réputation particulière sont effectivement préservés. Ils le sont parce que leur existence prend sens dans un système de pensée partagé et des pratiques communes, à une époque donnée. Considérés comme lieux de contact avec le divin, ils ne peuvent être maniés que par certains dans l'exercice de rituels précis. Il s'agit de « gérer » les relations des hommes aux dieux et des hommes entre eux, non des ressources biologiques. Mais pour insister tout de suite sur la complexité des pratiques actuelles, les *Vitex doniana*, espèce locale en régression, deviennent prisés et sont plantés dans certains jardins qu'ils marquent socialement.

L'EVOLUTION DE LA REPRESENTATION DE LA NATURE, L'EVOLUTION DES REGLES

Comprendre la situation présente oblige à un détour par l'histoire récente afin de percevoir la genèse des préoccupations actuelles, en liaison tout à la fois avec les changements sociaux et les changements écologiques.

La région de Maradi a connu des conflits pendant tout le 19ème siècle et la population, peu nombreuse, était réfugiée dans quelques centres bien défendus ou au coeur de forêts de pénétration

⁴ Cette pratique s'est maintenue avec l'introduction de *Prosopis juliflora* ou *chilensis* (appelés « la vipère de Madaoua »), qui se sont naturalisés au point de devenir dans certains endroits de véritables pestes. Depuis une dizaine d'années, ce sont des *Acacia holosericea* (appelés « olo ») qui ont la faveur des forestiers.

⁵ Les sciences biologiques se trouvent d'ailleurs confrontées à l'ambiguïté de la notion « d'état de référence ».

particulièrement difficile. L'instauration de la paix coloniale a suscité un fort mouvement d'exode urbain ; la majorité des villages actuels, dont la sédentarité a pu être de courte durée, ont été créés entre 1900 et 1929 (Raynaut, 1988) sur les terres les mieux appropriées à l'agriculture céréalière et au creusement des puits. Les règles d'accès à la terre et aux ressources ont correspondu à la représentation du monde de cette époque. Dans ce système de pensée, il n'existe pas de distinction tranchée de nature entre les divinités, les hommes, une grande partie des plantes, des animaux et certains milieux ou minéraux ; les uns et les autres sont porteurs d'une « âme », doués d'une « force » inégale selon les espèces et les individus, d'une possibilité d'agir (qui s'exerce d'ailleurs souvent au détriment des hommes) et de nouer des relations avec eux⁶.

En revanche une hiérarchie de pouvoir s'exerce entre les hommes et les divinités qui sont leurs jumeaux mythiques, invisibles mais incarnés : elles sont dotées d'un pouvoir, qui doit être en permanence concilié, sur le déroulement des saisons, la réussite des activités et la santé des hommes. Elles vivent en brousse avec les plantes et les animaux qui s'y trouvent et qui possèdent eux-mêmes, à des degrés divers, des pouvoirs supérieurs à ceux des hommes.

L'espace est un « univers sans choses » (Nicolas, 1975) sous la maîtrise absolue de ces divinités puis sous celle, politique, des chefs des anciens Etats Hausa. Des rituels permettent de transférer symboliquement aux hommes la maîtrise des espaces qu'ils utilisent (le « finage » villageois comprenant les champs, les jachères et les espaces de pâture et de cueillette) et de l'utiliser. Ils sont pris en charge par les chefs de lignages, de villages et de l'Etat, et cette responsabilité primordiale, qui s'exerce dans le cadre de la parenté et de l'organisation politique, place ces responsables en position de contrôler les hommes et leurs activités de production : accès à la terre et aux ressources, organisation du travail, destination des produits.

Concrètement, tant qu'ils reconnaissent ces hiérarchies et respectent les pratiques religieuses et politiques⁷, tous les chefs de lignages (ou de segment de lignage) ont le droit d'essarter et de cultiver des pans de « brousse », dépourvue d'ayants droit humains. Le contrôle est donc faible ; la terre en abondance n'a pas la valeur d'un bien mais représente un moyen d'exister physiquement et socialement, l'objectif étant plus d'atteindre à une « richesse en hommes » qu'une richesse économique qui lui est pourtant liée. Les champs défrichés constituent le patrimoine foncier des lignages mais le non-usage ou le départ du village effacent ces droits. Cette « gestion sociale » souple permet une expansion spatiale en fonction des besoins qui sont essentiellement d'ordre social (comme la réalisation de récoltes exceptionnelles scandant la progression des individus au sein de la société) mais également d'ordre économique. Elle permet aux villages de s'agrandir, aux cadets de prendre leur indépendance, à ceux qui veulent tenter leur chance ailleurs de créer leur propre village.

Naguère, la connexion entre droit sur le sol et sur les végétaux qu'il porte ne s'appliquait qu'aux cultures, c'est-à-dire aux plantes semées avec enfouissement, bouturées ou plantées puis entretenues. Les plantes spontanées poussant « de leur propre chef » et celles qui étaient « semées à la volée », n'étant pas le fruit d'un « travail » ou ne correspondant pas à un « projet », ne faisaient pas l'objet d'une appropriation particulière de la part de l'ayant droit sur le sol. Leur accès était libre dans les jachères et les « brousses » mais il en allait de même sur les champs, après la récolte. Ceux-ci étaient - sont encore - ouverts à la vaine-pâture entre moisson et semis, cette association agriculture-élevage contribuant à la régénération de la fertilité des sols. Les fanes des cultures, les fruits, les brèdes de cueillette utilisées pour la confection des sauces ou de plats de légumes bouillis, le combustible, les matériaux ou les plantes médicinales pouvaient y être prélevées sans qu'il y ait vol.

⁶ Cette absence de hiérarchie se traduit dans le vocabulaire : les hommes, les oiseaux, les reptiles, les mammifères sauvages, les poissons ... sont situés sur le même plan taxonomique. Par ailleurs, de très nombreuses histoires évoquent les métamorphoses d'hommes en animaux ou de certains animaux en hommes. Pour brièvement donner quelques exemples de relations nouées entre hommes et objets naturels, signalons que des animaux et des plantes dits « tête du lignage » jouent un rôle symbolique important : objets d'interdits, certains (comme le naja noir) apparaissent aux moments des naissances pour légitimer la filiation. Pratiquement dans chaque finage, certains arbres (comme un énorme baobab voisin de Maradi) ou des pierres reçoivent des sacrifices ou des offrandes et sont censés exaucer les vœux. Quelques uns sont même doués de parole comme un autre baobab appelé « donne moi du tabac ». Enfin la faune et la flore sauvage utilisées dans la pharmacopée sont activées par des paroles et des offrandes rituelles secrètes.

⁷ Il s'agit du rituel d'essartage, puis de rituels annuels encadrant les activités agricoles, de chasse, pêche, forge, ainsi que du paiement d'un impôt en nature à la chefferie.

Dans cette première moitié de siècle où les espaces non utilisés pour l'agriculture sont abondants, les paysans hausa ont su mettre en oeuvre des stratégies d'usage des ressources qui ont transformé de manière durable leur environnement mais n'ont pas représenté à proprement parler une menace généralisée pour la fertilité et la conservation des sols ni pour la reproduction des végétaux spontanés⁸. Lors des essarts, ils ne conservaient que deux grands arbres « pour faire de l'ombre aux hommes et aux animaux » mais respectaient les fruitiers, bouturaient certaines espèces marquant le territoire, transplantaient de jeunes scions, enfin ils ne détruisaient pas les fûts qui rejetaient le plus souvent de souche. Lorsque les terres étaient « fatiguées » ou « vieilles » mais avant qu'elles soient « mortes », elles étaient laissées en jachères de longue ou très longue durée afin de retrouver leur « force » perceptible à la qualité et la densité du couvert.

La crise de ce système est d'abord sociale. La croissance démographique s'est traduite dans les années 1950 à 1980 selon les régions par une saturation foncière des terres aisément cultivables dans les conditions techniques d'une agriculture manuelle demeurée essentiellement extensive. « Les gens sont devenus nombreux, il n'y a plus de brousse, il n'y a plus de bêtes sauvages, la terre est fatiguée, les pluies ont diminué ». A ce niveau, l'analyse des paysans concorde avec celle qui peut être dressée de l'extérieur : la surexploitation des terres et notamment la réduction des surfaces et des temps des jachères ont contribué à fragiliser un environnement qui a encore plus gravement souffert des effets multiples des sécheresses.

Ce qui en réalité est en cause ici n'est pas la croissance démographique seule mais son existence dans un cadre de règles d'accès à la terre et aux ressources, de processus techniques qui convenaient à un état de faible pression foncière. On est passé en moins de cinquante ans d'une situation d'abondance de terres de bonne qualité et de réserves foncières, de végétaux spontanés et d'animaux sauvages à une situation de pénurie et de sédentarité absolue, aggravée par les sécheresses.

Au lieu d'assister à une prolongation des tendances, les règles d'accès et d'usage ont récemment changé, en relation non seulement avec l'augmentation de la pression foncière mais aussi avec la transformation globale de la société⁹. La progression tonique de l'islamisation a contribué à l'effritement des anciennes religions. Elle a effacé la compétence symbolique des aînés et contribué à une désacralisation de la nature, rendant profanes des plantes, des animaux, des milieux naguère pensés comme concrètement associés aux divinités et à ce titre préservés. Les anciennes règles de contrôle sur l'accès et l'usage de la terre et des ressources sont devenues caduques. Les choses sont particulièrement nettes dans le cas des vallées portant des forêts-galeries touffues et « noires », autrefois jugées particulièrement dangereuses par les agriculteurs, qui sont aujourd'hui de plus en plus défrichées et intégrées dans les terroirs cultivés¹⁰.

Depuis les années 1960-70 dans certains terroirs particulièrement convoités, depuis la sécheresse de 1972-74 à peu près partout, la terre, devenue rare et n'étant plus le bien des divinités, a acquis une valeur monétaire : elle se vend, se loue, se met en gage. Son contrôle provoque une situation de compétition nouvelle, située plus au niveau des individus que des lignages et régulée par le marché, non plus par la force de travail disponible. Il a généré des processus de décapitalisation des petits paysans devant faire face à des besoins d'argent au profit de ceux qui ont pu mobiliser des réserves monétaires, notamment au moment des sécheresses, et sont progressivement devenus de véritables « entrepreneurs » agricoles.

Selon les paysans, la pression exercée sur la faune sauvage et la flore spontanée, la réduction des jachères et de la végétation qui leur était associée, la sécheresse enfin ont contribué à une diminution de ces ressources voire à leur disparition. Comme pour la terre, les droits sur les végétaux se sont modifiés, de manière diverse selon les catégories et les acteurs. Ceux « qui ont de l'utilité » deviennent l'objet d'une appropriation liée au droit sur le sol. Dans bien des endroits, les fanes des cultures sont récoltées et engrangées au même titre que les épis ce qui provoque des conflits, parfois violents, entre les éleveurs transhumants et les agriculteurs sédentaires.

⁸ Il faut en effet signaler l'impact fort de pratiques comme la fonte du minerai de fer sur le couvert végétal (Luxereau, 1983).

⁹ Le cas du Niger et d'ailleurs loin d'être unique. Des transformations identiques sont attestées au Nigeria comme dans des pays à très grande densité de population, Kenya par exemple (cf les travaux de M. Tiffen, M. Mortimore et F. Gichuki).

¹⁰ Cette conquête de nouveaux milieux écologiquement différents s'est accompagnée d'une diversification des techniques et des productions, mais est fort préjudiciable aux végétations.

PRESERVER OU CONSERVER ACTIVEMENT, L'EVOLUTION DES PRATIQUES

En aval, les attitudes se sont modifiées de manière diversifiée selon les régions, les acteurs et les végétaux. Les situations sont particulièrement contrastées : la désacralisation de la nature et les difficultés économiques mettent en péril des espèces ou des végétations particulières mais des actions de conservation, encore discrètes, existent un peu partout. Deux types peuvent être distingués : la préservation des ligneux en général, grandement influencée par les actions administratives, c'est à dire des savoirs exogènes ; l'élection de certaines plantes ou de certains animaux au statut de ressources à conserver, qui s'appuie sur des logiques complexes, pas uniquement traditionnelles ni matérielles mais pouvant s'insérer dans des relations sociales modernes ou relever de la passion manipulatrice du vivant. Dans tous les cas, ces pratiques de conservation peuvent s'appliquer à des végétaux locaux comme à des végétaux exotiques.

Les efforts des vulgarisateurs agricoles et forestiers joints aux interdictions administratives, la pénurie de bois, l'érosion des sols et la baisse des rendements ont contribué à l'élaboration d'une nouvelle perception du rôle des arbres. L'idée qu'ils « améliorent la terre » en la rendant « fraîche » et favorisent les récoltes est désormais admise par un grand nombre de paysans, même à tort si l'on prend le cas des Eucalyptus¹¹. De plus en plus fréquemment, les paysans protègent quelques jeunes scions poussant dans leurs champs. Ils les taillent, montrant ainsi leur volonté de les soustraire à l'utilisation collective des plantes qui « poussent de leur propre chef », les transplantent sur les limites, favorisent un rejet pour obtenir ultérieurement un bois d'oeuvre intéressant. B. Yamba a montré que, dans le village de Sherke Hausa, les moins riches étaient les plus conservateurs, les autres ayant la possibilité d'arriver à un résultat aussi satisfaisant et plus rapide à leurs yeux, en épandant des engrais manufacturés. Ces attitudes nouvelles ne s'appliquent pas exclusivement aux essences locales. Les neems sont aussi sauvegardés lorsqu'ils poussent dans un champ et sont plantés de manière très dense dans les villages (où ils ont contribué à faire disparaître les essences locales comme les *Ficus thonningii* autrefois bouturés) ou en haies coupe-vent dans les jardins (à la place des *Euphorbia balsamifera* également bouturés¹²). Dans quelques cas, localisés près de Konni et de Matameye¹³, des paysans ont converti des champs en plantations de neems et d'eucalyptus dont ils vendent les perches, mettant en oeuvre une rupture avec les représentations anciennes de l'agriculture, céréalière, nourricière, non monétarisée.

Dans le même temps, ces agriculteurs n'hésitent pas à braver les interdictions administratives en détruisant les grands arbres qu'ils estiment gênants à cause de l'ombre portée aux cultures ou parce qu'ils hébergent des ravageurs des récoltes comme les *Faidherbia albida* dont le rôle est par ailleurs reconnu. Le développement de l'agriculture de saison sèche, dans les vallées bien alimentées en eau, s'est ainsi réalisé au dépens de la riche végétation ligneuse qui était restée protégée jusqu'à ces dernières décennies. Les utilisateurs d'outils tractés, dérangés par les bosquets et souches, ne les coupent plus simplement mais les détruisent de plus en plus. La récolte du souchet qui occupe des surfaces accrues dans le département de Maradi est précédée d'un brûlage qui n'épargne rien. Les femmes, à court de combustible, ébranchent et ramassent ce qu'elles peuvent, ce qui est considéré comme « une obligation » ; les éleveurs peuls font de même pour nourrir leurs animaux, ce qui est considéré cette fois comme une atteinte à l'environnement des agriculteurs.

Cette série d'exemples contradictoires pourrait être allongée. La marge peut être grande entre le discours normatif, faisant état de connaissances métissées entre le local et l'exogène, et les attitudes

¹¹ L'analyse réemprunte des critères des savoirs locaux avec l'opposition entre « places fraîches » et « chaudes », liée à la gestion de l'eau par les sols. Certains agriculteurs se sont portés volontaires pour que des *Eucalyptus* soient plantés dans leurs champs et constatent aujourd'hui qu'ils sont « chauds » et exercent une très sérieuse concurrence sur les mils. Ces arbres étant interdits de coupe, ils mutilent les racines afin de les faire périr « naturellement ».

¹² La diffusion des neems, *Azadirachta indica*, a été favorisée par les services administratifs ; les plants sont disponibles partout et peu onéreux. Pour les paysans, leur avantage réside dans le fait qu'ils poussent particulièrement vite - d'où leur nom de « l'enfant élancé », supportent des tailles sévères contrairement aux *Ficus* et ne servent pas de gîte aux serpents contrairement aux Euphorbes.

¹³ La diffusion des nouvelles pratiques fait apparaître des effets de régions ou de villages. D'une manière générale, les initiatives sont le fait d'exploitants qui ont voyagé soit en exode temporaire de saison sèche, soit pour leur commerce : « tu regardes bien et tu fais la même chose chez toi ».

concrètes. A chaque fois, les pratiques se situent à un point de négociation entre intérêts à court et à long terme, entre possibilités et contraintes matérielles et sociales qui sont différentes selon les individus, leurs statuts (hommes et femmes par exemple) et leur richesse économique et relationnelle.

Cette perception globale de l'arbre est nuancée par une autre qui prend en compte chaque espèce voire chaque individu. Alors que les anciens cultes sont présentés comme des vieilleries, les arbres ou les bosquets qui leur ont été ou leur sont encore associés demeurent jusqu'à présent préservés : les *Prosopis africana*, les Tamariniers, les *Ficus* et autres arbres de très grande taille qui dominent aujourd'hui les champs céréaliers ont pratiquement tous été des autels de rituels régionaux, villageois ou lignagers. Bien que les représentations du monde aient évolué, le syncrétisme actuel joue en leur faveur : ils sont préservés mais aucun d'eux ne sera remplacé et certains musulmans convaincus se risquent même de manière pragmatique à des essartages prudents¹⁴. Il en va de même avec les arbres qui sont associés à des faits de l'histoire locale ou qui ont été plantés pour marquer l'espace et en particulier les villages, les villes, certains cimetières.

A Maradi, le très vieux *Faidherbia albida* « de Bariki » permet de repérer l'emplacement de la toute première agglomération ; le *Ficus thonningii* « de la porte de l'est » et d'autres arbres bien individualisés, aujourd'hui en plein champ, permettent de mémoriser le plan des quartiers de l'ancienne ville détruite, la situation des anciennes maisonnées. Un des tout derniers *Boswellia dalzielii* connus dans le sud du département provient d'une bouture que le père de l'actuel chef de village a réalisée lors du dernier déplacement de son lignage. Tous ces arbres ont aujourd'hui acquis un statut identitaire fort qui a d'ailleurs en partie supplanté leur statut ancien d'objets sacralisés¹⁵.

Des pratiques de conservation plus active s'appliquent à des plantes naguère abondantes et banales, aujourd'hui devenues rares. A Madarumfa la dernière touffe de *Vetiveria nigritana*, à Tibiri les derniers pieds de *Securidaca longipediculata*, espèces utilisées dans la pharmacopée locale, font l'objet d'une mise en défens respectée par les villageois : on peut en prélever un peu, sous le contrôle du propriétaire du sol, mais ces derniers exemplaires doivent pouvoir se régénérer. A Dossey, cette dernière espèce a été transplantée depuis les champs de l'erg sableux dans les jardins clos de la vallée, mieux alimentés en eau et d'accès bien plus contrôlé. Elle y voisine avec d'assez nombreux pieds de l'ancien coton pérenne de cette région, *Gossypium arboreum*, introuvable ailleurs et utilisé aujourd'hui dans la confection de charmes. Il s'agit toujours du maintien d'un usage antérieur et matériel mais certains arbres, n'ayant pas d'autre fonction que de faire de l'ombre et qui n'existent plus qu'à de très rares exemplaires, peuvent, comme les médicinales, être mis en défens. Leur rareté leur confère une valeur en soi et transforme leur statut.

Dans d'autres cas (en particulier de fruitiers locaux comme les *Vitex doniana*), leur reproduction est organisée à partir de semences récoltées en brousse par des pépiniéristes. Certains propriétaires des grands jardins de vallées y replantent les jeunes scions car ces arbres rares commencent à conférer du prestige. Il ne s'agit en rien d'un phénomène nouveau, si ce n'est qu'il concerne des végétaux locaux en régression. Le chef de canton de Dogerawa s'enorgueillit de posséder le premier arbre à chapelet (*Sapindus saponaria*) de la région, rapporté par son père d'un voyage à Dakar, ancêtre unique de tous ceux qui existent actuellement dans la petite région, dans les jardins de parents, d'alliés ou d'amis. Son cousin montre avec fierté des *Raphia* rapportés cette fois du Togo. Ces arbres là ne poussent pas n'importe où mais dans les jardins des anciens chefs. Les puissants et les riches d'aujourd'hui, qui ne sont pas forcément les mêmes que ceux d'hier, continuent à se distinguer du commun à travers des végétaux emblématiques de leur catégorie sociale. Ils plantent des anciens *Vitex*, des *Ficus polita* mais aussi des cocotiers ou des bananiers qui obligent à une irrigation coûteuse, de la vigne (à l'origine

¹⁴ Dans un village du sud du département de Maradi, un *Ficus* a été tenu pour responsables de divers malheurs et le pan de brousse environnant, appelé « la brousse des fils des sorciers », laissé sans utilisation. Les villageois actuels - dont le marabout - témoignent des multiples déboires intervenus dans l'histoire récente. Cependant un feu courant a détruit l'arbre en 1989. Personne n'ose encore cultiver cette brousse, mais les villageois ont commencé à ébrancher les arbres des lisières puis ceux qui sont situés plus à l'intérieur. Ailleurs et dans les mêmes conditions, un autre pan de brousse a été prêt à des peuls qui en ont été les premiers essarteurs.

¹⁵ Dans un village du département de Maradi, un chasseur a mis le feu à un *Bauhinia rufescens* pour déloger les hérissons réfugiés dans l'entrelacs des racines. Il s'agissait de l'ancien autel d'un des plus importants lignages et son responsable, ayant porté l'affaire devant la justice coutumière, a obtenu gain de cause pour ce motif. L'arbre a heureusement rejeté de souche et, bien qu'aucun sacrifice n'y soit plus effectué, est considéré comme constitutif de « l'héritage » matériel et symbolique du lignage.

plantée par un européen et qui circule aujourd'hui à l'intérieur d'un petit réseau d'amis) ou des caramboliers.

Dans ce registre du prestige, on assiste à des essais, encore fort diffus, de mise en culture de plantes à sauce, comme *Cassia obtusifolia*, *Gynandropsis gynandra* ou *Corchorus* sp., spontanées dans les jachères ou dont les semenciers étaient épargnés dans les champs et les graines semées à la volée. Elles sont encore disponibles sur les marchés pendant la saison des pluies mais leur régression fait qu'il devient difficile d'effectuer des réserves pour la saison sèche. Or, « rien qu'à l'odeur, tu salives » et offrir, à contre saison, de telles sauces est un véritable festin. Des femmes de fonctionnaires les sèment dans leurs parterres de fleurs ; quelques propriétaires de jardins irrigués leur consacrent une planche, pour leur usage personnel, pour conforter par des cadeaux leurs réseaux d'amitié (de « richesse en hommes ») non pour la vente.

L'utilité, déclinée ici entre le matériel, le religieux et le social, semble exclure le plaisir, pourtant déjà perceptible à travers le goût porté à certains aliments. En matière de relations au monde végétal, l'hédonisme est pourtant souvent une motivation forte mais rarement exprimée, sous-jacente aux pratiques. Expérimenter, acclimater, découvrir, porter attention à la croissance des plantes, être fier de la réussite font plaisir. « Cette plante, je ne la connais pas », dit un jardinier, « je l'arrose pour voir ce qu'elle va devenir ». L'existence des arbres à chapelet et des raphias sont des exemples prestigieux mais cette attitude ne se limite pas aux catégories sociales dominantes. Du Tchad, un jeune exodant a rapporté et multiplié une variété rouge de niébé qu'il trouve non seulement bonne mais jolie. D'autres tentent une culture de taro en bordure d'une mare, de carambolier à partir d'un fruit rapporté du Burkina, d'une variété de coton rapportée de La Mecque.

Les cours de maisons et les jardins irrigués sont les lieux privilégiés de ces transplantations, de ces innovations, de ces emprunts. Contrairement aux champs qui sont travaillés par l'ensemble de la maisonnée et où l'objectif est d'éradiquer tout ce qui peut concurrencer les céréales, là, le rapport au végétal s'inverse : il est personnalisé et il s'agit de favoriser la pousse par des arrosages et des repiquages. Ce sont des lieux caractérisés par une diversité spécifique et variétale remarquable, conservatoires d'espèces locales et lieux d'introduction d'espèces exotiques.

DES VEGETATIONS « SPONTANÉES OU SÉLECTIONNÉES, DÉGRADÉES OU RECONSTRUITES »

C'est ainsi que le géographe Paul Pélissier présentait, en 1980, « le manteau végétal qui sert de cadre aux sociétés africaines », ajoutant que ses « transformations répondent aux besoins et aux moyens des sociétés en présence, à leur dynamisme démographique ou spatial, à la nature de leur organisation, au contenu de leur patrimoine culturel ».

L'analyse menée en pays hausa, montre que les dynamiques sociales et écologiques s'articulent pour faire évoluer la perception de ce manteau végétal, pour en transformer les règles d'accès et d'usage comme les pratiques techniques. Il est à la fois de plus en plus dégradé, de plus en plus reconstruit : les végétations des jachères et des vallées s'appauvrissent, les parcs agro-forestiers au contraire se développent. Des espèces locales en régression sont préservées ou activement conservées notamment par leur transfert dans des milieux écologiques plus favorables, dans des espaces soustraits à l'usage collectif. Il n'est pas question de conserver des ressources génétiques mais de satisfaire des besoins matériels et sociaux complexes, dans lesquels les végétaux jouent un rôle.

D'autres espèces ont, à l'inverse, perdu leur intérêt et sont détruites ou remplacées par des exotiques qui deviennent largement prédominantes et peuvent faire l'objet d'une véritable sylviculture. La reconstruction des références idéelles est en cours et s'accompagne de la coexistence de modèles anciens et nouveaux, parfois en contradiction et cependant encore agissants. Les anciennes fonctions des végétaux demeurent vives, d'autres apparaissent, résultant d'un métissage entre les savoirs et les usages locaux, les idées et les stratégies exogènes.

Toute tentative de généralisation se heurte à la multiplicité et la complexité des pratiques. Les responsabilités, les savoirs, les possibilités de recours à des moyens ou à des pratiques nouvelles ne sont pas équivalents pour les acteurs. L'émergence de disparités nouvelles au sein des villages et des familles, accentuées au cours des dernières sécheresses, rend surtout les individus inégaux devant ce qui est généralement perçu comme une dégradation de l'environnement. Les hommes ont beau jeu de

stigmatiser les femmes qui ébranchent ou les pasteurs qui émondent : il leur faut du bois pour la cuisine, du fourrage pour leurs animaux.

BIBLIOGRAPHIE

- Carucci R, 1994. Aperçu sur l'approche territoriale et méthodologique d'intervention dans la lutte contre la désertification dans l'arrondissement de Keita. Coopération FAO/Gouvernement, Projet intégré Keita, 25 p. multigraph.
- Diarra-Doka M. et O. Tinao, 1993. Etude socio-économique pour l'élaboration et la mise en oeuvre d'un programme d'appui à la gestion locale de la rônieraie. Niamey, Min. de l'Hydraulique et de l'Environnement-Bureau de la Coopération Suisse-UICN.
- Dupré G. (sous la direction de), 1991. Savoirs paysans et développement. Paris, Karthala-ORSTOM, coll. Economie et développement.
- Gillet H. et B. Peyre de Fabregues, 1982. Quelques arbres utiles en voie de disparition dans le Centre-Est du Niger. Rev. Ecol. (Terre vie), vol.36, Paris, p.10-47
- Luxereau A., 1983. Métallurgie dans le Sahel nigérien : contraintes de l'écosystème, effets de la technique. L'exemple de la région de Maradi (Niger). in Métallurgies africaines. Nouvelles contributions. Paris, Mémoire de la Soc. des Africanistes, ss. la dir. de N. Echard, 9 : 225-236.
- Luxereau A. 1994. Usages, représentations, évolutions de la biodiversité chez les Haoussa du Niger. *J.A.T.B.A.*, Nouvelle série, col XXXVI, n°2, : 67-86.
- Luxereau A. 1996. Saturation foncière et nouvelles formes de compétition sociale en pays hausa (Niger, région de Maradi et Ader). in Les dynamiques du changement en Afrique sub-saharienne. Freins et impulsions. Paris, L'harmattan : 95-116.
- Luxereau A. et B. Roussel, 1995. Il y a trop de gens, la terre est fatiguée. Changements écologiques et changements sociaux dans la zone sahélo-soudanienne du Niger Central. Paris, CNRS- Programme Environnement, 205 p. multigr.
- Nicolas, G. 1975. Dynamique sociale et appréhension du monde au sein d'une société hausa. Paris, Institut d'Ethnologie-MNHN.
- Pelissier, P. 1980. Introduction à l'arbre en Afrique tropicale. La fonction et le signe. Cahier ORSTOM, série Sciences Humaines, vol XVII, n°3-4 : 127-130.
- Raynaut Cl. (ss la direction de) 1988. Le développement rural de la région au village. Analyser et comprendre la diversité. Bordeaux, GRID-Projet de développement rural de Maradi.
- Roussel B. 1992. Fonctions, gestion et appropriation de l'arbre dans les communautés paysannes de la région du Parc du W (République du Niger). Rapport de mission, MNHN, Ethnobiologie-biogéographie, Paris, 21 p.
- Roussel B., 1994. Usages, perception et gestion des jachères : comparaison entre une région sèche et une région humide de l'Afrique de l'Ouest. *J.A.T.B.A.*, Nouvelle série, vol XXXVI, n°1, Paris : 29-44
- Tiffen M., M. Mortimore et Fr. Gichuki. 1994. More people, less erosion. Environmental recovery in Kenya. London, ODI-Wiley.
- Yamba B., 1993. Ressources ligneuses et problèmes d'aménagement forestier dans la zone agricole du Niger. Thèse de Biogéographie/Ecologie, Bordeaux II, 391 p. ronéo.

LA DOMESTICATION DES IGNAMES (*DIOSCOREA CAYENENSIS-ROTUNDATA*) CHEZ L'ETHNIE BARIBA DU BENIN

Dumont R., Vernier Ph.

CIRAD-CA, France

RESUME

Un travail d'enquête a été conduit, en 1995, chez 150 paysans de l'ethnie Bariba du Bénin afin d'éclairer l'itinéraire suivi pour obtenir des ignames *D. cayenensis-rotundata* en partant des ignames sauvages *D. abyssinica*. Il apparaît que près de la moitié de la population interrogée connaît cette domestication, celle-ci étant, par ailleurs, pratiquée aujourd'hui par 4,7% des paysans faisant partie de l'échantillon étudié. La domestication s'exerce sur une fraction bien délimitée dans les ignames sauvages. C'est une gestion du matériel végétal permettant de revenir périodiquement à la sexualité alors que les ignames cultivées sont essentiellement multipliées par voie végétative. La domestication passe par deux étapes. D'abord, il y a ennoblissement du tubercule, celui-ci se trouvant doté d'une expression morphologique appropriée à l'agriculture. La transformation reste stable aussi longtemps qu'elle est maintenue dans des conditions d'agriculture. Ces résultats sont obtenus en mettant en oeuvre des techniques culturelles particulières qui n'avaient jamais été décrites jusqu'à présent. La seconde étape de la domestication est une sélection clonale opérée sur le matériel végétal dont le tubercule a été ennobli. Elle fournit, le plus souvent, des cultivars fortement semblables à ceux déjà existants dans l'agriculture mais elle est aussi à l'origine d'innovations variétales. A court terme, c'est une diversification intravariétale adaptative. Sur le long terme, cette sélection a probablement une dimension évolutive.

Mots clés : igname, *Dioscorea* sp., domestication, pratiques paysannes, ressources génétiques, ethnie Bariba, Bénin.

INTRODUCTION

Les ignames cultivées appartenant à l'actuel groupe botanique *Dioscorea cayenensis-rotundata* sont, à plusieurs reprises, indiquées comme venant d'une domestication que le paysan africain a effectuée en partant des ignames sauvages relevant de la section Enantiophyllum Uline. L'idée est avancée dès 1939 et 1952 respectivement par Burkill (1) et Miège (6). Elle sera étayée plus tard, notamment par Hamon (5) et Terauchi (7). Pour comprendre comment s'est opérée la domestication des ignames, Chikwendu et Okezie (3) ont suivi, pendant 8 années successives, les transformations morphologiques qui affectent l'espèce sauvage *D. praehensilis* Benth lorsqu'elle est transférée vers l'agriculture à partir de son habituel biotope de forêt mésophile. Les résultats obtenus éclairent incomplètement la question.

La domestication des ignames africaines reste mal connue. Aucune opération de recherche n'a jamais été spécifiquement centrée sur la collecte des connaissances relatives à ce sujet que peuvent détenir les sociétés traditionnelles d'Afrique occidentale faisant partie de la civilisation de l'igname. Pourtant, des observations personnelles, effectuées ponctuellement de la Guinée au Cameroun septentrional, nous ont depuis longtemps convaincu que les populations rurales maintiennent souvent un savoir très concret à propos de la domestication des ignames. C'est notamment le cas pour l'ethnie Bariba du Bénin. Aujourd'hui encore, elle semble bien connaître l'itinéraire suivi pour aboutir au matériel végétal cultivé en partant des ignames sauvages savaniques rangées sous le nom de « dika » par la langue vernaculaire. Ce sont les informations recueillies dans cette situation particulière qui font l'objet du travail présenté ici.

CARACTERISTIQUES DE L'ETUDE

L'étude a été réalisée de juillet à décembre 1995. Elle concerne le territoire Bariba qui s'inscrit, pour sa plus grande partie, dans le quart nord-est du Bénin. Le travail d'enquête s'est déroulé sur deux

zones comprenant trois villages chacune. Ces deux zones, séparées par un peu plus de 100 km, sont situées chacune à une extrémité de l'axe nord-sud passant par la ville de Parakou, elles correspondent aux pôles de l'agriculture de l'igname en pays Bariba.

- La zone de Tchaorou à 50 km au sud de Parakou. Elle constitue un espace de transition vers les savanes à une (au nord) et deux saisons pluvieuses (au sud) et en même temps, vers l'aire méridionale de la production des ignames qui se prolonge jusqu'à moins de 150 km du littoral atlantique.
- La zone de Fô-Bouré à 90 km au nord de Parakou. Elle marque la limite au delà de laquelle les ignames se trouvent supplantées par les céréales dans l'agriculture vivrière.

Les deux régions étudiées reçoivent une pluviosité annuelle moyenne de 1 095 mm, étalée sur 8 mois dans le sud et sur 7 mois dans le nord (Service Météorologique du Bénin pour la période 1961-1990).

Sur le plan ethnique, la région de Tchaorou est relativement hétérogène parce que se trouvant en continuité territoriale directe avec les populations Nagot et Yorouba. Cette situation détermine des échanges variétaux et des modifications dans les appellations variétales. Il est difficile de séparer ces deux phénomènes dans un travail d'enquête. Ce problème affecte, dans une certaine mesure, la validité d'une comparaison effectuée avec les inventaires variétaux obtenus dans le nord.

LA METHODE DE TRAVAIL

Dans chacune des 2 régions choisies, on a réalisé 2 enquêtes différentes sur le même échantillon de 3 villages.

1 - la première enquête a permis d'interroger 50 paysans de la zone de Tchaorou et 100 dans celle de Fô-Bouré sur les pratiques de domestication de l'igname. Le questionnaire était organisé en cinq rubriques :

- la connaissance des ignames dika. Ceci implique une compétence permettant de séparer et décrire la diversité de ce matériel végétal.
- l'utilisation alimentaire des ignames dika. On a voulu mesurer l'intérêt porté à la cueillette de ces ignames et les réserves manifestées à ce sujet.
- la technique de domestication appliquée aux ignames dika. Il s'agit de définir l'itinéraire technique suivi pour aboutir aux morphotypes appropriés à l'agriculture.
- la mise en oeuvre personnelle de la technique de domestication. On veut savoir si l'agriculteur interrogé pratique ou a pratiqué la domestication des ignames dika.
- la connaissance des produits de la domestication. C'est la capacité d'identifier les ignames cultivées concernées par la domestication. On sollicite ici une mémoire qui ne semble pas s'étendre au delà de 3 générations humaines.

2 - la seconde enquête, réalisée en complément, concerne 15 exploitations agricoles par zone, sur lesquelles on a inventorié les variétés d'ignames *D. cayenensis-rotundata* en évaluant l'importance de chacune d'elles dans la surface cultivée. L'objectif de ce travail est de pouvoir replacer dans un cadre plus général les informations concernant le matériel végétal recueillies par la première enquête.

LES RESULTATS

1 . La connaissance du phénomène de domestication

Le tableau n°1 fait apparaître la proportion de paysans ayant fourni une réponse positive vis-à-vis de chacun des critères utilisés par l'enquête.

Les ignames dika sont visiblement plus connues dans le nord du pays Bariba ce qui coïncide avec la quasi généralisation de leur utilisation alimentaire. En revanche, la technique de domestication est équivalente entre régions et concerne près d'un agriculteur sur deux. La pratique de domestication est beaucoup moins fréquente. Elle semble plus élevée en région sud mais l'écart observé n'est pas statistiquement significatif quand on applique le test du Khi carré ($X^2 = 1,87$ pour une limite de 3,84 au seuil de 95%). On peut donc considérer que dans les 2 régions étudiées, une moyenne de 4,7% des personnes interrogées pratique la domestication de l'igname

Tableau 1 : Etude sur la domestication des ignames dika. Pourcentage de réponses positives par question.

Questions de référence utilisées par l'enquête	Pourcentage des réponses positives par question Région sud	Pourcentage des réponses positives par question Région nord
Connaissance de la biodiversité des ignames dika	42,0	84,0
Utilisation alimentaire des ignames dika	46,0	92,0
Connaissance de la technique de domestication	44,0	47,0
Pratique de la technique de domestication	8,0	3,0
Connaissance des produits de la domestication	44,0	47,0

2. Observations relatives aux différents volets de la domestication

2.1. Le matériel végétal dika

Dans le nord et le sud du pays Bariba, 84 et 21 paysans ont respectivement pu décrire la diversité morphologique des ignames dika.

Tableau 2 : Types d'ignames dika différenciées par le paysan Bariba : en valeur relative (%) par rapport au nombre de paysans ayant fourni une réponse sur la biodiversité des dika.

Types de dika	Nord du pays Bariba	Sud du pays Bariba
Dika yambérékou	73,8	9,5
Dika souenrou	3,6	71,4
Dika guéa	71,4	47,6
Dika wonka	1,2	47,6
Dika sinrou konsi	26,2	-
Dika kpika	1,2	38,1

Dika yambérékou et dika souenrou correspondent à l'espèce *Dioscorea togensis* Knuth. Cette igname n'est pas consommée car sa chair est très amère. En revanche, elle fait partie de la pharmacopée traditionnelle. Les quatre autres ignames indiquées dans le précédent tableau sont aujourd'hui rangées dans l'espèce *D. abyssinica* Hochst ex Kunth. Ce sont elles qui sont recherchées par la cueillette (cf. tableau 1). Si on tient compte du problème de synonymie, ces ignames doivent être regroupées dans deux formes sans qu'on sache, pour le moment, si ce sont des espèces distinctes ou les variantes d'une même espèce. Elles peuvent exister en sympatrie, notamment dans les jachères, mais sont préférentiellement distribuées dans des écosystèmes différents.

La première forme réunit dika guéa et dika wonka (littéralement la vraie dika et la dika noire). Elle produit un tubercule relativement volumineux dont la partie terminale développe des digitations, appelées « tério » (littéralement, qui s'étale) culinairement très appréciées. C'est une igname inféodée aux peuplements végétaux en voie de remaniement. Elle remplace inmanquablement *D. praehensilis* dès que celle-ci est éliminée de la forêt dense caducifoliée par l'effet périodique du feu. Elle accompagne ensuite l'évolution régressive du milieu végétal jusqu'à son terme de savane. Le caractère systématique de ce phénomène fait supposer qu'il repose sur les transformations adaptatives (par voie sexuée) de l'espèce *D. praehensilis*. Cette idée reste, bien sûr, largement hypothétique pour le moment. En tout cas, les travaux de Zoundjhekpou (9) ont montré qu'en Côte d'Ivoire il n'existe pas de barrière de reproduction entre *D. praehensilis* et les ignames cultivées *D. cayenensis-rotundata*.

La seconde forme regroupe dika sinrou konsi et dika kpika (la dika dont le bout pourrit et la dika blanche). Le tubercule est long, mince et il ne se ramifie jamais. Son extrémité distale se désagrège à

l'époque où les organes aériens se dessèchent. Cette igname se rencontre surtout dans la savane pyrophile. Elle est présente jusqu'au nord du 10^{ème} parallèle mais on la rencontre aussi en position très méridionale où elle reste cantonnée dans des biotopes secs (failles rocheuses notamment).

2.2. La technique de domestication

A partir des ignames dika on fabrique des cultivars fournissant un tubercule de longueur réduite et de diamètre important. 47 paysans dans le nord et 22 dans le sud ont décrit l'itinéraire de l'opération. Il est présenté ici de façon schématique. La tête de l'igname dika est plantée au sommet d'une butte. En position sous-jacente, un obstacle (fragment de poterie) est disposé de manière à arrêter le développement en longueur du tubercule fourni par la plante dika. Il arrive que ce tubercule soit soustrait à la plante mère (interruption du processus de tubérisation) pendant la période végétative afin de provoquer l'apparition d'une néoformation de longueur moindre. L'opération de domestication s'étale sur 3 ans au moins. Parvenue à son terme, elle fournit un matériel végétal doté d'un tubercule dont les caractéristiques morphologiques sont celles de l'igname cultivée.

Parallèlement, il y a aussi modification morphologique des organes aériens de la plante. L'ensemble des transformations obtenues se maintient aussi longtemps qu'il est conservé dans des conditions d'agriculture. Dans le cas contraire, les paysans prétendent qu'il y a retour vers le morphotype dika. Le résultat des manipulations peut être morphologiquement proche d'une composante du matériel végétal déjà connu par le cultivateur ou, au contraire, apparaître comme une innovation. Dans le premier cas, le produit est ajouté au compartiment variétal correspondant. Le tableau suivant permet de préciser et de comparer l'importance des différentes contraintes mises en oeuvre pour ennoblir les tubercules.

Tableau 3 : Définition des techniques nécessaires pour la domestication des ignames dika et fréquences de citation par rapport au nombre de paysans ayant décrit ces pratiques.

Contraintes identifiées par l'enquête	% de réponses obtenues	
	Zone nord	Zone sud
• Type de dika utilisé		
de dika guéa	63,8	
de dika sinrou konsi	2,1	
de dika wonka		50,0
de dika kpika		9,1
• Plantation réalisée exclusivement avec la tête du tubercule dika	95,8	100,0
• Introduction d'un obstacle dans la butte	64,6	81,8
• Interruption du processus de tubérisation (double récolte)	34,0	18,2
• Délai de transformation minimum de 3 ans	70,2	72,7

Dans chacune des 2 régions étudiées, l'interruption de la tubérisation est la contrainte la moins fréquemment liée à la domestication. En dehors de ce cas, on observe un nombre élevé de réponses et une concordance inter-régionale des opinions. La domestication est bien ciblée sur dika guéa, et dika wonka. La nécessité de recourir à l'obstacle et d'attendre plusieurs années avant de parvenir à la transformation morphologique du tubercule dika apparaissent comme des contraintes importantes et de même niveau. Toutefois, les résultats de l'enquête indiquent une certaine contradiction quant à l'avantage de l'obstacle au delà de la première campagne de culture. Enfin, l'idée la plus fortement exprimée par les paysans est que la domestication doit obligatoirement partir de la tête du tubercule dika ce qui implique une coupe.

Jusqu'ici, on n'a pas vérifié expérimentalement la technique de domestication utilisée par le paysan Bariba. On possède cependant des informations montrant indirectement leur intérêt. De 1974 à 1995, la Station INRAB (Institut National de la Recherche Agronomique du Bénin) d'Ina (au nord du Parakou) a reconduit chaque année sur butte une collection de 94 ignames dika (guéa et sinrou konsi) sans mettre en oeuvre les techniques d'ennoblissement du tubercule. Aucun changement morphologique du tubercule n'a été observé au terme de cette longue durée d'expérimentation. Ceci indique que le transfert du matériel végétal sauvage de son milieu naturel vers l'agriculture ne suffit

pas, à lui seul, pour obtenir la transformation morphologique du tubercule recherchée par le paysan. C'est à la même conclusion qu'aboutissent les travaux de Chikwendu et Okezie (3).

Dans la savane sèche de Guinée (pays Malinké) et du Cameroun (pays Dourou), nous avons rencontré une méthode de domestication identique à celle venant d'être présentée. Toutefois, cette méthode n'est pas générale en Afrique. L'utilisation de l'obstacle disparaît dans les régions humides (partie centrale du Bénin et du Togo notamment). L'allongement du cycle végétatif offre une meilleure prise à l'interruption de la tubérisation en procurant la possibilité de répéter l'opération (une ou deux fois) à l'intérieur d'une même campagne agricole.

Tableau 4 : Inventaire variétal de *D. cayenensis-rotundata* sur 15 exploitations par région enquêtée du pays Bariba.

Région nord (114 338 plantes d'ignames recensées)	(%) de la surface cultivée en igname	Région sud (207 210 plantes d'ignames recensées)	(%) de la surface cultivée en igname
<u>Variétés à double récolte</u>			
Morokourou	10,0	Kokouma	10,1
Kpounan	3,9	Ahimon	3,6
Adani	1,5	Douroubayésirou	2,7
Douroubayésirou (Maréworoukorou)	1,4	Kpounan	1,7
Kpakara (Danwaré)	1,3	Lajoun	1,2
Soussou	1,1	Kpakara	1,0
Yourou yinsingué	< 1	Olodo	< 1
Soagana (Fagona)		Offégni	
Kpanhoura		Adani	
Mooki (Mogué, Modji)		Soussou	
Guirissi		Guirissi	
Agogo		Hororo (Gbaroudé)	
Kokouma		Angba awobé (Gnoni kankou)	
		Kouhoungo	
TOTAUX variétés précoces	22,0		22,8
<u>Variétés à une récolte unique</u>			
Sinko	22,8	Yakara Ngo	20,0
Boni Wouré	21,6	Déba	15,4
Singon	10,3	Singan (Singou)	11,9
Kagourou	8,1	Omoya	11,8
Tabandé	5,4	Gomini	5,4
Sankounin	3,5	Gambari gninou	3,7
Gomini	2,4	Boni wouré	3,7
Boni Yakpa	1,0	Ih-donou	2,3
Yakara Ngo	< 1	Tanko	< 1
Yon Bouanri		Yon Bouanri	
Kahi		Ayé	
Kourokouragourouko		Kagourou	
Ayé		Gonin	
Konkounou (Kpéri, Nassou, Wofougou)		Kourokouragourouko	
Totaux variétés tardives	78,0		77,2

NB : les variétés en caractère gras apparaissent dans les deux régions

2.3. Comparaison des produits de la domestication avec les variétés inventoriées dans l'agriculture

Lors de l'inventaire variétal dans les deux séries de 15 exploitations, nous avons trouvé qu'environ la moitié des variétés est commune aux 2 zones étudiées. Ces variétés sont indiquées en caractères gras dans le tableau 4.

Il faut souligner des apparentements de variétaux. Selon Dansi (4), Boni Wouré et Ahimon sont génétiquement proches tandis que Tabandé se rattache au groupe « Kokoro ou Kokobanou » (Yakara Ngo, Omoya, Déba) nom générique donné aux ignames utilisées pour la fabrication de cossettes.

Morokorou et Kokouma sont généralement considérées comme deux formes d'un même ensemble variétal. C'est de cette façon et non comme une simple synonymie qu'il faut regarder les couples Douroubayésirou/Maréworoukorou, Kpakara/Danwaré et Angba awobé/Gnoni kankou.

Le matériel végétal voit sa distribution dans l'agriculture influencée par un effet régional. Morokorou et Boni Wouré d'un côté, Kokouma et Ahimon de l'autre sont des cultivars dont l'importance agronomique est clairement liée à des zones différentes. Les variétés Worou Yinsingué, Soagona et Kpanhoua, très précoces et morphologiquement proches de Soussou, sont particulières à la zone nord. Inversement, c'est dans le sud du pays Bariba que les ignames de type « Kokoro » prennent une grande extension liée au développement du commerce des cossettes. D'après les résultats de l'enquête, la relation entre le matériel végétal cultivé et la domestication est établie dans 68 cas au nord et dans 39 cas au sud. Cette relation correspond respectivement à 15 et 17 variétés différentes. Le tableau 5 regroupe l'ensemble de ces informations.

Tableau 5 : Classement régional des variétés d'ignames identifiées comme provenant de la domestication. Chaque variété est suivie de sa fréquence d'apparition dans les observations régionales.

Zone nord		Zone sud	
Variétés	Fréquences	Variétés	Fréquences
Ourou yinsingué *	12	Ahimon *	8
Soussou *	10	Angba awobé *	6
Douroubayésirou *	9	Soussou (Sissikounou) *	4
Fagona (Soagona) *	8	Dani (Adani)	3
Dani (Adani) *	8	Kokouma *	2
Mooki *	5	Mooki (Modji)	2
Kpounan *	4	Kpakara	2
Kpanhoua *	3	Faaji	2
Toko nou woura	2	Androkialo (Androki)	2
<u>Kéyi (Kahi)</u> *	2	Kpéroutpako	1
<u>Tabandé</u> *	1	Agarou-oloodo	1
Andobadi	1	Kpounan	1
Kpakara *	1	Akouando	1
Tanwoukou	1	Kétéba	1
Kati	1	Tandika	1
		Toko nou woura	1
		<u>Déba</u> *	1
15	68	17	39

- NB .
- 1 - Les noms variétaux soulignés correspondent à des ignames tardives.
 - 2 - Les variétés en caractères gras sont communes aux 2 zones.
 - 3 - Les variétés suivies d'un astérisque ont déjà été indiquées à l'occasion de l'inventaire réalisé en agriculture paysanne (tableau 4).

Six noms étant communs aux 2 régions, 26 variétés différentes (sous réserve de synonymie) sont rattachées à la domestication. Seize d'entre elles apparaissent dans l'inventaire réalisé sur les 30 exploitations et sont signalées par un (*) dans le tableau 5.

Trois variétés correspondent à des ignames tardives (récolte unique). Les 13 autres sont des ignames précoces (à double récolte) qui, ensemble, représentent près de 60% de la diversité variétale et 65% des surfaces cultivées de ce groupe variétal. La majorité des domestications se rapporte donc à du matériel déjà largement cultivé et probablement ancien. Cette double idée est illustrée par le variétés Kpounan signalée en Côte d'Ivoire, au Ghana et au Bénin, respectivement par Hamon (5), Tetteh et Saakwa (8) et Dansi (4).

A plusieurs reprises, la domestication sépare des variétés considérées comme très proches. Ainsi, les cultivars Kokouma et Ahimon sont-ils reliés à la domestication alors que ce n'est pas le cas pour leurs homologues respectifs, Morokorou et Boni Wouré. Ces derniers viennent, semble-t-il, d'une domestication aujourd'hui arrivée à terme et ne concernant, par ailleurs, pas la même zone géographique. Ce décalage des domestications se traduit par une évolution du matériel végétal. Entre Kokouma et Morokorou, il s'agit d'une modification morphologique du tubercule. Avec Ahimon, il y a

eu ajustement plus strict à la double récolte par rapport à Boni Wouré qui est une variété considérée comme mixte mais cependant aujourd'hui conduite essentiellement en récolte unique.

Les couples Douroubayésirou/Maraworoukorou, Kpakara/Danwaré et Angba awobé/Gnoni kankou fournissent une image particulière de la domestication. Le premier terme de chaque couple est un cultivar en même temps rattaché à la domestication et économiquement important tandis que le second terme dépourvu d'idée de domestication correspond à du matériel végétal devenu marginal dans l'agriculture.

La variété Toko nou woura est un exemple de ce que peut être l'effet transformateur de la domestication. La traduction littérale du nom signifie « l'étranger qui se comporte bien ». Autrement dit, pour cette variété séparée du matériel végétal connu, la transformation de l'igname dika a débouché sur un cultivar nouveau et avantageux sur le plan agronomique.

On signalera aussi un cas insolite de domestication rencontré en dehors du cadre géographique de l'enquête. Dans le nord-ouest du Bénin (pays Dompago et ethnies affines), où une puissante pression démographique a depuis longtemps sévèrement appauvri le stock d'ignames sauvages, la domestication a donné un cultivar mâle aux organes aériens fortement nanifiés qui aujourd'hui se vulgarise spontanément dans l'agriculture Bariba sous le nom de « Tam saan » (igname arachide). Un morphotype semblable a été obtenu en Inde (1) à la suite d'une sélection clonale opérée sur des lignées demi-frères fabriquées au Nigéria par l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA).

COMMENTAIRES ET HYPOTHESES CONCERNANT LA DOMESTICATION

Si on met en parallèle les 4,7% de domestication relevés par l'enquête et les 34 000 exploitations recensées dans la zone à ignames du pays Bariba (CARDER Parakou, campagne 1992-1993), il apparaît que la population actuelle a pu conduire 1 600 domestications concernant, pour le moins, autant de plantes.

La domestication commence par le choix de dika guéa et de dika wonka parmi la diversité des ignames disponibles à l'état sauvage. On ne connaît pas encore les caractéristiques génétiques du matériel végétal retenu et sa position taxonomique reste ambiguë par rapport aux espèces sauvages *D. praehensilis* et *D. abyssinica*. Dans sa première phase, la domestication conditionne l'expression des caractères morphologiques du tubercule dans un sens favorable à l'agriculture. Cet objectif est atteint en mettant en oeuvre des techniques traumatisantes (obstacle dans la butte, interruption de la tubérisation) dont le mécanisme et l'effet restent à expliquer. Ces manipulations n'altèrent guère la sexualité naturelle qui reste très fonctionnelle. En principe, le génotype de la plante transformée n'est pas modifié puisque seule la multiplication végétative a été utilisée. La seconde étape de la domestication est une sélection clonale qui, dès la deuxième année du processus, se superpose à la démarche engagée pour changer la forme du tubercule. On revient ici à la voie génétique.

On ne sait pas dans quelle mesure le passage périodique par les ignames sauvages est important pour tirer un bénéfice agronomique de la sexualité. Pour différentes raisons, les semis naturels de graines d'ignames (dont les hybridations inter-variétales) sont voués à l'échec dans les conditions d'agriculture traditionnelle. A elle seule cette difficulté justifie le passage par les ignames sauvages. De plus, la méthode est facile à mettre en oeuvre et assez efficace pour répondre aux préoccupations du paysan. La sélection clonale est utilisée pour surmonter des difficultés de production. On ne connaît pas la nature des problèmes sous-jacents. Le paysan parle d'influences maléfiques. On pressent qu'il s'agit d'une chute de productivité trouvant son origine dans le matériel végétal longtemps multiplié par voie végétative. Une explication pourrait être l'accumulation d'agents pathogènes (notamment des virus). On peut aussi penser à une érosion de la diversité intravariétale. A la lumière des observations faites, la seconde idée paraît la plus plausible, mais dans les deux hypothèses envisagées, le passage par la sexualité permet de rétablir la productivité du matériel végétal. Il n'est pas nécessaire de rechercher l'innovation variétale aussi longtemps que les objectifs et les contraintes de la production restent inchangés.

Regardée de façon plus générale, la sélection clonale obtient une large diversification du matériel végétal parce que, sur le long terme, elle s'exerce sur des populations d'ignames sauvages dont la valeur d'équilibre homéostatique évolue dans le temps et se fractionne dans l'espace sous l'effet des facteurs naturels (variations climatiques notamment) et anthropiques. Les distorsions intervenant dans la variabilité naturelle peuvent introduire la divergence génétique dans la continuité de la

domestication intravariétale et conduire à l'apparition (voire à la substitution) de variantes variétales à des séparations de nature écotypique ou encore à la combinaison des deux effets.

La domestication aboutit aussi à la création variétale. Le phénomène pourrait être favorisé quand le degré d'allogamie diminue au sein des populations sauvages (cas probable de l'igname Tam saan). La fraction la plus intéressante des créations variétales est mise en réserve. C'est ce qui s'est passé avec les ignames « Kokoro » restées longtemps marginales dans l'agriculture mais devenues récemment un instrument essentiel de la production dans le sud du pays Bariba.

A quelque niveau que ce soit, la domestication procure une dimension évolutive et donc adaptative au matériel végétal. Dans le prolongement de cette idée, on soulignera le dynamisme remarquable dont fait preuve la production de l'igname en pays Bariba. Ceci pour, à la fois, s'adapter à l'agriculture sédentarisée et répondre à la spécificité de la demande commerciale née de l'urbanisation. Cette double réorientation a été possible parce que les ressources génétiques nécessaires ont été disponibles.

CONCLUSIONS

L'enquête conduite sur la domestication de ignames a obtenu un vaste écho dans le paysannat Bariba du Bénin. Le sujet étudié est loin de correspondre à un souvenir relégué dans la mémoire collective. C'est, au contraire, un savoir encore mis en pratique dans l'agriculture actuelle. A lui seul, ce résultat est important car, d'une façon générale, on a peu l'occasion d'avoir une vision directe sur la domestication des plantes cultivées. La domestication est visiblement un itinéraire passant périodiquement par la sexualité pour recréer (ou créer) de la diversité génétique à l'intérieur d'un matériel végétal que l'agriculture manipule par voie végétative. On retombe là sur un démarche classique. Elle est apparemment maîtrisée depuis longtemps par le paysan. Il reste cependant que la transformation morphologique du tubercule, c'est à dire l'étape essentielle de son ennoblissement, est le fruit de techniques culturelles très particulières. Celles-ci font aussi partie d'une expérience paysanne très ancienne. La méconnaissance de ce savoir reste, jusqu'aujourd'hui, un point faible pour les travaux que la recherche dirige vers l'amélioration génétique par voie sexuée des ignames *D. cayenensis-rotundata*.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Abraham K. *et al.*, 1989 White yam, *Dioscorea rotundata* poir., dwarf type. Trop. Agric. 66(4), p. 184-186.
- 2 - Burkill I. H., 1939. Notes on the genus *Dioscorea*. In the Belgian Congo Bull. Jardin Botanique de l'Etat (Bruxelles), Vol. 15. 48 p-p.385.
- 3 - Chikwendu V. E. *et al.*, 1989. Factors responsible for the ennoblement of african yam: influences from experiments in yam domestication. Foraging and farming: the evolution of plant exploitation. Results of a symposium held at the World archeological congress, Southampton, England, sept. 1989. In D. R. Harris, G. C. Hillman London. England Academic Division of Unwin Hyman Ltd, pp. 344-357.
- 4 - Dansi A. A., 1995. Caractérisation des principaux cultivars d'ignames du complexe *Dioscorea cayenensis-rotundata* du nord-est du Bénin. Mémoire d'études approfondies en biotechnologie et amélioration des productions végétales. Université Nationale de Côte d'Ivoire, p. 31.
- 5 - Hamon P., 1987. Structure , origine génétique des ignames cultivées du complexe *Dioscorea cayenensis-rotundata* et domestication des ignames en Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat es-Sciences. Université Paris XI, Centre d'Orsay. p. 152.
- 6 - Miegé J., 1952. Contribution à l'étude systématique des *Dioscorea* d'Afrique occidentale. Thèse de doctorat ès-sciences. Paris. p. 128.
- 7 - Terauchi R. *et al.*, 1992. Origin and phylogeny of Guinea yams as revealed by RFLP analysis chloroplast DNA and nuclear DNA. Theor. App. Genet. 83. pp. 743-751.
- 8 - Tetteh J.P. and Saakwa C., 1994. Prospects and constraints to yam production in Ghana. Acta Horticulturae. 380. pp. 355-359.
- 9 - Zoundjihekpou J., 1993. Biologie de la reproduction et génétique des ignames cultivées de l'Afrique de l'Ouest, *Dioscorea cayenensis-rotundata*. Thèse de Docteur ès-Sciences Naturelles. Université Nationale de Côte d'Ivoire. Faculté des Sciences et Techniques, Abidjan, Côte d'Ivoire. p. 245.

LES RESSOURCES PHYTOGENETIQUES DES SAVANES DU ZAIRE MERIDIONAL

Lubini C.A.

Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe, Kinshasa/Gombe, Zaïre

ABSTRACT

The savannahs of south Zaïre constitute a vast grassy ecosystem receiving a diversity of sites, determined by an interaction of the mesological factors. A recent inventory (Lubini & Belesi, 1994) of the vascular spontaneous flora covering the whole area shows 4 727 infrageneric-taxa, 246 of which are currently used in food and other uses. On these spontaneous food species, numerous widely cultivated plants since numerous centuries. These widely exploited plant genetic resources supply the fruits, seeds, roots, vegetables and forages to the people living in these savannahs. The trials of multiplication in the seed-bed and analysis of the chemical composition of the parts consumed of these plants reveal the food, agricultural, medicinal, economical and other interests of this vast ecosystem. The protection and conservation of this genetic diversity, the strategy of its valorisation, the mechanism of support to managers and farmers have been ensuring « on-farm » conservation for millenaries and also the proposals about the role of scientists and development actors should be considered in a global context, integrating all the biological, agronomical, social, cultural and technological aspects.

RESUME

Les savanes du Zaïre méridional constituent un vaste écosystème herbeux, recelant une diversité de sites déterminés par l'interaction des facteurs mésologiques. Un inventaire récent (Lubini & Belesi, 1994) de la flore vasculaire spontanée, couvrant l'ensemble de l'aire considérée ici fait état de 4 727 taxa infragénériques, parmi lesquels 246 sont couramment utilisés en alimentation et autres usages. A ces espèces alimentaires spontanées s'ajoutent de nombreuses autres plantes largement cultivées depuis plusieurs siècles. Ces ressources phytogénétiques très exploitées fournissent fruits, graines, tubercules, légumes et fourrages à la population habitant ces savanes. Des essais de multiplication en pépinière ainsi que les analyses de composition chimique des parties des plantes consommées révèlent l'intérêt alimentaire, agricole, médicinal, économique et autres usages que représente ce vaste écosystème. La protection et la conservation en place de cette diversité de ressources phytogénétiques, la stratégie de sa valorisation, le mécanisme de soutien aux gestionnaires et aux paysans qui assurent depuis des millénaires la conservation à la ferme ainsi que des propositions sur le rôle des scientifiques et acteurs de développement devraient se concevoir dans un contexte global, intégrant tous les aspects biologiques, agronomiques, sociaux, culturels et technologiques.

INTRODUCTION

Les savanes du Zaïre méridional représentent la majeure partie des formations herbeuses du pays occupant les hauts plateaux sableux et jouissent d'un climat tropical. Dans le cadre du programme national d'actions pour la conservation et l'utilisation durable des ressources phytogénétiques, des recherches ont été menées sur la flore, la végétation et l'exploitation de ces ressources à des fins alimentaires, agricoles, médicinales, combustibles ligneux, économiques ou autres. En effet, ces formations herbeuses et arbustives comportent des potentialités diversement exploitables.

A l'heure des inventaires des ressources naturelles biologiques qui caractérisent les préoccupations de la communauté internationale, il est nécessaire que les pays de la sous-région de l'Afrique de l'Ouest et du Centre créent un cadre conceptuel cohérent pour réfléchir et élaborer des stratégies nécessaires pour les projets de conservation *in situ* intégrant tous les aspects : protection de la diversité biologique en place, valorisation de cette diversité, mécanismes de soutien aux gestionnaires de la conservation à la ferme et propositions sur les rôles respectifs des scientifiques et des autres acteurs du développement.

Cette note aborde successivement le cadre géographique de ces savanes, l'étude de la flore et de la végétation, les ressources phytogénétiques cultivées et spontanées, la valeur nutritive de quelques espèces et quelques suggestions pour une conservation et utilisation de ces ressources biologiques des savanes.

CADRE GEOGRAPHIQUE

Situé au centre de l'Afrique, le Zaïre est une sorte de charnière entre les savanes soudaniennes au nord et les savanes zambéziennes et guinéo-congolaises au sud. C'est un pays à la fois de forêts et de savanes. Les savanes du sud du Zaïre s'étalent entre les 4° et 12° sud et entre les 12° et 31° est.

Du point de vue géomorphologique, tout le sud du Zaïre est constitué de plateaux sableux, inclinés du sud ou sud-est vers le nord. Ces plateaux dont l'altitude varie entre 600 et 2 000 m sont de l'est vers l'ouest : Marungu, Kundelungu, Kibara, Bianco, Manika, Kamina, Kasai, Kwango, Bateke et le Mont de Cristal. Plusieurs surfaces d'aplanissement datant du Jurassique à fin Tertiaire y sont reconnus. Les sols de ces plateaux sont sablonneux, sableux ou faiblement sablo-argileux. Il s'agit de sables de type Kalahari, blancs, très filtrants sur une grande profondeur, de l'ordre de 80 m et plus. Ces plateaux jouissent d'un climat tropical humide de type A3-5 de la classification de Köppen et caractérisé par deux saisons nettement tranchées : l'une pluvieuse, l'autre sèche (plus courte sur les plateaux du sud-ouest - Bateke, Kwango - où elle dure trois mois, elle est de 4 à 5 mois secs ou même plus sur les autres plateaux).

L'insolation est faible par rapport à l'insolation astronomiquement possible avec des valeurs variant selon les saisons entre 30 et 75%. La température moyenne annuelle de l'air se situe entre 24°C sur les plateaux des Bateke, Kwango et de Kamina, et 22°C en juillet pour les plateaux du sud-est. Les précipitations varient également, soit une moyenne annuelle de 1 500-1 600 mm sur les plateaux du sud-ouest, avec un maximum de 1 972 mm à Kahemba, 1 158 à 1 235 mm sur ceux du sud-est. Les principaux cours d'eau sont de l'est vers l'ouest : le lac Tanganyika, le fleuve Zaïre (Lualaba), le Lomami, le Kasai et ses affluents (Sankuru, Kwango, Kwilu) et le même fleuve Zaïre au sud-ouest.

LA FLORE

L'inventaire de la flore vasculaire des savanes du Zaïre méridional est étudié sur la base des prospections sur le terrain (plateau des Bateke principalement), de la flore d'Afrique centrale (familles déjà publiées) et de nombreux travaux taxonomiques, phytosociologiques et phytogéographiques se rapportant à l'aire considérée.

Une flore riche et diversifiée

Cet inventaire fait état de 4 744 espèces, sous-espèces et variétés réparties en 1 207 genres et 143 familles, avec la prédominance des phanérogames dont les *Fabaceae* (610 espèces), *Poaceae* (522), *Asteraceae* (405), *Rubiaceae* (319), *Cyperaceae* (230), *Orchidaceae* (211), *Lamiaceae* (115), *Euphorbiaceae* (144), *Caesalpiniaceae* (97) et *Apocynaceae* (80). Précisons que cet inventaire inclut l'ensemble de la flore des savanes et des galeries forestières ainsi que des îlots isolés qui caractérisent certains faciès de ces savanes. Les genres les mieux représentés sont *Crotalaria*, *Vernonia*, *Eriosema*, *Desmodium*, *Vigna*, *Aeschynomene*, *Humularia*, *Acacia*, *Albizia*, *Brachystegia*, *Cassia*, *Polygala*, *Panicum*, *Hyparrhenia*, *Setaria*, *Digitaria*, *Pennisetum*, *Cyperus*, *Polygonum*, *Cissus* et *Hibiscus*.

Originalité de cette flore

Une analyse récente (Lubini & Belesi, inédit) faite sur cette flore des hauts plateaux du sud du Zaïre révèle 190 espèces, sous-espèces et variétés jusque là signalées seulement dans ces savanes. Ces taxa endémiques, du moins pour ces aires, se comptent parmi les genres *Crotalaria*, *Protea*, *Gladiolus*, *Commelina*, *Humularia*, *Anthericum*, *Cissus*, *Iconium*, *Becium*, *Coleus*, *Hygrophylla*, *Dolichos*, *Tephrosia* et *Thunbergia*. A titre d'exemple, on peut citer *Tephrosia nselensis* De Wild., *Crotalaria kwangensis* Wilczek, *Crotalaria kasaiensis* Wilczek, *Crotalaria kibariensis* Wilczek, *Crotalaria kundelunguensis* Bak.f., *Thesium manikensis* Robyns & Lawalrée, *Gnidia kundelunguensis* Moore, *Trichoscypha kwangensis* Van der Veken, *Triumfetta marunguensis* R. Wilczek, *Triumfetta*

likasiensis De Wild. Cette originalité de la flore des savanes du Zaïre méridional s'explique entre autres non seulement par la nature génético-historique mais aussi écologique : diversité des sites, compétition interspécifique, variation intraspécifique, isolement géographique, organisation spatiale des espèces.

Enfin, notons la présence de quelques espèces introduites en voie de naturalisation. Il s'agit des arbres fruitiers : *Persea americana* Mill. (avocatier), *Mangifera indica* L. (manguier), *Anacardium occidentale* L., auxquels s'ajoutent d'autres espèces autochtones largement cultivées : *Elaeis guineensis* Jacq. (palmier à huile), *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J. Lam., *Adansonia digitata* L. fréquemment observées dans les sites anthropisés.

LA VEGETATION

Les formations herbeuses ou savanes du sud du Zaïre forment un vaste écosystème comprenant plusieurs communautés végétales et occupant plusieurs centaines de milliers d'hectares, soit 76,84 millions d'hectares correspondant à 33% du territoire national. Des considérations phytogéographiques permettent de distinguer deux grands types : les savanes guinéo-congolaises et les formations herbeuses zambéziennes. Les premières occupent le centre-sud et le sud-ouest de l'aire considérée tandis que les secondes, en mosaïque avec les forêts claires, s'étendent dans le sud-est. Dans les deux types, on reconnaît physionomiquement les savanes herbeuses, arbustives et arborées.

Les savanes guinéo-congolaises

Elles s'observent dans le centre-sud et le sud-ouest du Zaïre. Ces formations herbeuses font partie de la zone de transition régionale guinéo-congolaise et zambézienne au sens de White (1983). Elles sont le plus souvent secondaires, bien qu'il existe aussi de petits îlots primaires. Leur composition floristique et leur densité varient principalement en fonction de la roche-mère, de leur position dans la toposéquence et du niveau de dégradation.

Selon leur physionomie et leur composition floristique essentielle, on peut distinguer deux types : les savanes arbustives et les savanes herbeuses non steppiques. Les formations herbeuses arbustives du sud-ouest du Zaïre (Bas-Zaïre, Kwango) ont été étudiées par Duvigneaud (1952) et Devred (1956 et 1958) tandis que celles du centre-sud l'ont été par Mullenders (1954). Les principales espèces ligneuses constituant la strate arbustive sont *Erythrophleum africanum* (Welw. Harms), *Dialium englerianum* Henriques, *Burkea africana* Hook., *Hymenocardia acida* Tul., *Pterocarpus angolensis* DC., *Protea petiolaris* Welw. ex Engl., *Diplorynchus condilocarpum* (Muel.-Arg.) Pichon, *Combretum psidioides* Welw., *Strychnos pungens* Solerod, *S. cocculoides* Bak., *Albizia adianthifolia* (Schmach.) Wight et *Berlinia giorgii* (De Wild.) Hauman.

La strate herbacée est essentiellement dominée par des *Poaceae* dont *Hyparrhenia diplandra* (Hach.) Stapf, *H. familiaris* (Steud.) Stapf, *H. confinis* (Hochst. ex Rich.) Anders., *Andropogon schirensis* Hochst., *Loudetia simplex* (Nees) C.E. Hubb., *L. arundinacea* (Hochst. ex A. Rich.) Steud, *L. demeusei* (De Wild) C.E. Hubb., *Ctenium newtonii* Hack, *Rhynchelytrum amethysteum* (Franch.) Chiov. et *Aframomum albo-violaceum* (Ridl.) K. Schum.

La formation herbeuse non steppique est basse, ouverte et piquetée d'arbustes souvent rabougris par les feux annuels. La composition floristique essentielle comprend *Loudetia simplex*, *L. demeusei*, *Ctenium newtonii*, *Digitaria diogonales* (Nees) Stapf, *D. brazzae* (Franch.) Stapf, *Anisophyllea quangensis* Engl. ex Henriques, *Parinari capensis* Harv., *Garcinia huillensis* Welw. ex Oliv., *G. buchneri* Engl., *Landolphia lanceolata* (K. Schum.) Pichon, *L. parvifolia* (A. Chev.) Pichon var. *thollonii*, *Annona senegalensis* Le Thomas var. *oulotricha*, *Maprounea africana* Muell.-Arg., *Crossopteryx febrifuga* (Afz. ex G.Don) Benth. et *Psorospermum febrifugum* Spach.

Dans le centre-sud, dans la région de Kaniama, au Shaba, les savanes secondaires comportent quelques espèces forestières pionnières telles que *Harungana madagascariensis* Lam., *Phyllanthus muellerianus* (O. Ktze) Exell, espèce de liaison guinéo-congolaise. Mais on y trouve également les espèces de liaison zambézienne dont *Acacia hockii* De Wild., *A. polyacantha* Willd. subsp. *compylacantha* Hochst. ex A. Rich.) Brenan, *A. sieberiana* DC., *Bridelia ferruginea* Benth., *Gardenia jovis-tonantis* (Welw.) Hiern, *Maytenus senegalensis* (Lam.) Exell, *Ochna schweinfurthiae* F. Hoffm., *Pterocarpus angolensis* DC., *Securidaca longepedunculata* Fresen, *Dombeya shupangae*

K. Schum. var. *glabrescens* P. Bamps et *Parinari curatellifolia* Planch. subsp. *mobola* (Oliv.) R. Grah.

Les savanes zambéziennes

Les savanes zambéziennes du sud-est du Zaïre sont basses, essentiellement constituées d'herbes parfois espacées. Les espèces ligneuses sont rares, pyrophytiques et très dispersées. Les espèces les plus typiques sont entre autres *Loudetia simplex*, *Ctenium newtonii*, *Aristida dewildemanii* Henrard, *Diheteropogon emarginatus* (De Wild.) Robyns, *Andropogon scherensis*, *Monocymbium cerasiiforme* (Nees) Stapf, *Parinari capensis*, *Elionurus argenteus* K. Schum., *Hyparrhenia lecomtei* (Franch.) Stapf. Les arbustes et les lianes les plus courants sont *Hymenocardia acida*, *Annona senegalensis*, *Strychnos cocculoides*, *Smilax kraussiana* Meism.

Dans ces savanes zambéziennes, lorsque la topographie et le substrat le permettent, il se développe aussi des îlots de forêts claires zambéziennes appelées « mikwati », essentiellement composées de *Brachystegia spiciformis* Benth., *Julbernardia paniculata* (Benth.) Troupin, *Protea petiolaris*, *Marquesia macrura* Gilg dans la strate arborescente, la synusie herbacée étant dominée par les *Poaceae* dont celles mentionnées ci-dessus.

LES RESSOURCES PHYTOGENETIQUES DES SAVANES DU ZAIRE MERIDIONAL

Les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture des savanes du Zaïre méridional peuvent être perçues à deux échelles. D'une part, les espèces domestiquées largement cultivées et, d'autre part, celles spontanées non cultivées, également exploitées à des fins alimentaires et agricoles.

Espèces alimentaires cultivées

Depuis des siècles, les savanes ont toujours été le cadre de multiplication de plusieurs espèces mais aussi d'introduction de nombreuses autres exotiques. Ces faits se traduisent par une importante diversité d'espèces alimentaires cultivées de nos jours sur l'ensemble de l'aire considérée.

Les espèces alimentaires autochtones et originaires de savanes africaines domestiquées depuis plusieurs siècles et largement cultivées sont principalement *Pennisetum americanum* (millet), *Oryza glaberrima* (riz), *Sorghum bicolor* (L.) Moench. (sorgho), *Vigna unguiculata* (Harms) Verdc. subsp. *dekintiana* (niébé), *Voandzeia subterranea* Thouars (vouandzou), *Hibiscus sabdariffa* L. (oseille de Guinée), *Amaranthus hybridus* L. sp. *cruentus* L. Thell. (amaranthe), *A. dubuis* Mart. ex Thell. (amaranthe), *A. lividus* L. sp. *ascendens* (Loisel) Thell. & Graebn.

D'autres plantes alimentaires d'origine extra-africaine largement cultivées dans les savanes du Zaïre méridional sont *Saccharum officinarum* L. (canne à sucre), *Manihot esculenta* Crantz (manioc), *Zea mays* L. (maïs), *Ananas comosus* Merr. (ananas), *Phaseolus vulgaris* L. (haricot), *Arachis hypogaea* L. (arachide), *Ipomoea batatas* Poir. (patate douce), *Mangifera indica* L. (sésame), *Cucurbita moshata* (Duch. ex Lam.) Duch. ex Poir. (courge).

Ces diverses espèces sont cultivées pour leurs graines, fruits, tubercules, tiges juteuses ou leurs feuilles et constituent parfois les aliments de base (manioc, maïs, riz, millet...). La conservation de ces ressources phytogénétiques entièrement assurée par les paysans eux-mêmes se fait à « la ferme ». Plusieurs espèces cultivées comptent de nombreuses variétés. C'est notamment le cas de l'arachide, de oseille de Guinée, de la patate douce, du haricot, du maïs, du manioc, de la courge et des amarantes.

Espèces alimentaires spontanées

Outre les espèces alimentaires domestiquées et cultivées depuis de très nombreuses générations, il existe un important nombre d'espèces alimentaires spontanées apparentées ou non aux plantes faisant l'objet de culture. A celles-ci, il convient d'ajouter les espèces employées à d'autres usages.

L'identification et l'inventaire du matériel rassemblé au cours des prospections sur le terrain et dans les marchés font état de 284 espèces, sous-espèces et variétés couramment exploitées à des fins alimentaires, médicinales, constructions diverses et autres usages. Elles appartiennent principalement

aux *Fabaceae*, *Amaranthaceae*, *Polygalaceae*, *Anacardiaceae*, *Capparaceae*, *Apocynaceae*, *Rubiaceae* et *Vitaceae*. Les genres *Eriosema*, *Vigna* et *Polygala* comptent le plus d'espèces comestibles. Dans leur grande majorité, ces espèces sont des herbes annuelles ou vivaces, arbustes ou lianes.

En examinant la nature des organes consommés, on constate que toutes les parties végétatives, les fruits et les graines sont concernés. Mais la préférence est accordée aux feuilles et fruits ainsi qu'aux graines, organes bien pourvus en nutriments, notamment en vitamines et protéines. Le tableau 1 donne les proportions centésimales des différents organes consommés.

Tableau 1 : Proportions centésimales des organes végétaux consommés par les populations des savanes du Zaïre méridional.

Organes consommés	Nombre	%
Racines	23	13,1
Tiges	-	-
Feuilles	65	37,2
Fleurs	2	1,1
Fruits	53	30,3
Graines	32	18,3
Total	175	100,0

Cette richesse spécifique, cette diversité d'espèces et d'organes utilisés en alimentation suggèrent l'intérêt des ressources génétiques des savanes. Elles posent aussi le problème de leur conservation, de leur utilisation et de leur valorisation pour leur promotion. *Anisophyllea quangensis*, *Landolphia lanceolata* et *Aframomum albo-violaceum* font l'objet des essais de domestication en pépinière.

VALEUR NUTRITIVE DE QUELQUES ESPECES

Les fruits et les feuilles de quelques espèces comestibles de savanes du Zaïre méridional ont fait l'objet d'analyses de leur composition chimique. Les travaux ont porté sur les espèces les plus couramment consommées *Anisophyllea quangensis*, *Dracaena nitens*, *Annona senegalensis*, *Psophocarpus lecomtei* et *P. scandens*.

Dans l'ensemble, les résultats de ces essais révèlent que ces plantes ont une composition chimique assez bien équilibrée. En effet, la présence de glucides, de protéines, de lipides et de sels minéraux est mise en évidence.

Tableau 2 : Composition chimique de quelques espèces comestibles des savanes du Zaïre méridional

Espèces	Matières organiques (%)				Eléments minéraux (mg)					
	Prot.	Lipid.	Glucides		K+	Na+	Ca++	Mg++	PO ₄ ³⁻	Fe++
			Sucres Totaux	Cellu- lose						
<i>Anisophyllea quangensis</i>										
fruits (pulpe)	8,02	5,28	47,68	7,25	891,9	3,48	83,83	74,61	4,63	35,91
amande (graine)	13,58	32,04	42,27	4,47	534,6	3,66	60,81	69,21	6,20	35,99
<i>Annona senegalensis</i>										
fruits	8,29	14,66	55,55	17,73	1147	2,70	184,4	233,5	450	80,9
<i>Dracaena nitens</i>										
(100g/M.s.) (mg)										
fleurs	22,67	2,63	19,66	-	2312,7	10,9	624,9	216	327,9	12,5
fruits (g/100g/M.s.)	2,34	13,91	58,74	23,81	763	10,0	129,8	62,2	139,3	227,3
<i>Psophocarpus lecomtei</i> : feuilles										
(g/100g/M.s.)	22,83	13,59	59,45	-	-	-	0,338	0,29	0,033	-
<i>Psophocarpus scandens</i> : feuilles										
(g/100g/M.s.)	38,99	12,22	41,03	-	-	-	3,21	1,489	0,359	-

Le tableau 2 reprend les résultats des analyses de composition chimique des parties consommées des plantes exploitées. Ces données, bien que provisoires, montrent l'intérêt alimentaire et économique de ces espèces. Elles suggèrent leur protection, leur conservation et leur promotion pour assurer la diversité des ressources phytogénétiques.

Les fruits d'*Anisophyllea quangensis*, *Dracaena nitens*, *Landolphia lanceolata*, *Aframomum albo-violaceum* sont souvent utilisés pour préparer artisanalement des confitures et des sirops de bonne qualité. Ces essais concluants méritent d'être poursuivis pour valoriser et promouvoir les espèces concernées. L'étape suivante visera la culture à large échelle de ces espèces. Mais avant tout, il faudra assurer la maîtrise de leur multiplication dans des pépinières.

AUTRES USAGES DE PLANTES SAVANICOLES

Outre l'usage alimentaire, la flore des savanes du Zaïre méridional comporte également des espèces couramment exploitées à des fins médicinales, fourragères, textiles ; dans la construction, la fabrication d'outils et le mobilier ; en teinturerie, vannerie, production de caoutchouc, d'insecticides, d'excitants nerveux ; pour des usages culturels, aphrodisiaques, mellifères, ornementaux ; pour la plantation de haies ; pour l'ombrage, etc. Cette énumération met en évidence la connaissance millénaire des plantes qu'ont les populations rurales de leur usage et laisse entrevoir les techniques utilisées. Le tableau 3 rapporte les proportions centésimales des plantes de divers usages.

Tableau 3 : Usages de plantes non alimentaires des savanes du Zaïre méridional.

Usages	Nombre d'espèces	%
Espèces fourragères	40	16,3
Espèces médicinales	80	32,5
Espèces insecticides	2	0,8
Espèces à fibres	28	11,4
Espèces utilisées en construction et outils divers	54	22,0
Espèces utilisées en teinturerie	17	6,9
Espèces de vannerie	4	1,6
Espèces mellifères	3	1,2
Espèces aphrodisiaques	7	2,8
Espèces psychomagiques	7	2,8
Espèces ornementales	2	0,8
Espèces à caoutchouc	2	0,8
Total	246	100,0

Notons cependant les proportions plus élevées des plantes médicinales, de celles utilisées pour la construction d'habitations, la fabrication d'instruments de musique ou d'outils divers, pour l'alimentation du bétail et la corderie. Trois usages prédominent : les usages médicaux, énergétiques et fourragers, correspondant aux préoccupations des populations des savanes étudiées, la santé, l'énergie et agriculture dont l'élevage. Enfin, les fibres de nombreuses espèces sont exploitées pour la confection des cordes ou des paniers. D'autres espèces sont susceptibles de livrer des substances chimiques diverses telles que les résines, le tanin, la colle.

POUR UNE CONSERVATION ET UTILISATION DES RESSOURCES GENETIQUES DES SAVANES AFRICAINES

L'ensemble des formations herbeuses africaines ou savanes couvre 6 millions d'hectares, soit 1/5 du continent. Au Zaïre, les savanes occupent 32,8% du territoire national. La conservation *in situ* et « à la ferme » des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture en Afrique de savane est une réelle préoccupation, vu les pressions de toute sorte qu'elles subissent : feux de brousse, surpâturage, fluctuations imprévisibles des climats, catastrophes naturelles. Les phénomènes écologiques sont intercommunicants et les solutions doivent être envisagées dans les ensembles régionaux et sous-régionaux. Il y a nécessité de créer un cadre de réflexion sur les problèmes et les solutions à leur apporter.

Un cadre conceptuel pluridisciplinaire

La conservation et l'utilisation des ressources génétiques concernent tous les utilisateurs directs ou indirects. Elles devraient être conçues dans un cadre concerté de spécialistes : agronomes, botanistes, pédologues, zoologistes, géographes, sociologues, aménagistes, gestionnaires, paysans et agriculteurs. Les facteurs bioclimatiques et édaphiques exercent une influence déterminante sur le fonctionnement des écosystèmes. Les précipitations surtout ont un rôle sur la répartition des communautés biologiques et leur fonctionnement. Les données édaphiques permettent d'établir des relations entre types de sols et communautés végétales et animales et d'envisager les vocation des terres, les types de cultures et d'aménagement.

Les connaissances sur la diversité biologique, richesse spécifique des communautés animales et végétales, leur dynamique et leur phénologie sont importantes dans l'optique de la conservation *in situ* et « à la ferme ». Toutes ces connaissances bioclimatiques, édaphiques et biotiques portées sur une carte constituent un outil précieux pour la planification des actions à entreprendre et la gestion des ressources phytogénétiques.

Une collaboration entre agriculteurs, scientifiques et gestionnaires

La conservation, l'utilisation et la gestion des ressources phytogénétiques devront tenir compte de l'aspect culturel des populations des milieux ruraux. Cet aspect culturel permet de pénétrer les connaissances et la sagesse des agriculteurs qui ont su conserver des variétés et cultivars depuis des siècles. En effet, en savane, l'occupation de l'espace se caractérise le plus souvent par des îlots culturels ou faciès écoculturels. Il s'agit de type de sociétés agraires traduisant essentiellement les rapports qu'elles établissent avec le milieu par leurs techniques, la nature des espèces cultivées, leur organisation et la gestion des stocks agricoles saisonniers. Fréquemment, la domestication et la formation du paysage témoignent d'un certain degré de contrôle du milieu par les populations rurales. Il existe en savane un état dynamique des relations homme - milieu. Les transformations du milieu entreprises par l'homme traduisent la finesse du génie de l'homme ; c'est ce que les sociologues appellent ethnoscience. Ces modifications sont aussi l'expression du degré d'attachement des populations de chaque groupe culturel aux éléments de l'environnement.

La conservation à la ferme des variétés cultivées est entre autres basée sur des considérations culturelles : habitudes alimentaires, exigences agronomiques, valeur commerciale. Si les connaissances écologiques et biologiques qu'ont les agriculteurs des espèces, variétés et communautés végétales locales ne sont pas bien appréhendées par les scientifiques et les gestionnaires, tout effort de conservation est voué à l'échec. Dans ces conditions, cette innovation sera extra-traditionnelle et le paysan n'y trouvera pas son compte. Le paysan connaît bien ses variétés cultivées et conservées, les exigences agronomiques et écologiques ; le scientifique s'efforcera de les connaître d'abord avant de proposer des améliorations qualitatives et quantitatives, tandis que le gestionnaire s'occupera d'établir des relations nécessaires entre agriculteurs, scientifiques et les utilisateurs des produits agricoles. Une harmonisation entre, d'une part, les préoccupations de la conservation et l'utilisation, entre, d'autre part, les exigences agronomiques et écologiques et les principes d'une bonne gestion souhaitable est nécessaire.

Renforcer et harmoniser le cadre institutionnel

Les programmes nationaux de conservation des ressources phytogénétiques devraient être établis et renforcés au sein de la structure des systèmes de recherches agricoles nationaux. Les Comités nationaux des ressources génétiques devraient comprendre tous les partenaires et acteurs concernés par la gestion des ressources phytogénétiques : les différents ministères, les instituts d'enseignement et de recherche, les organisations non gouvernementales et les agriculteurs. La législation nationale en matière des ressources phytogénétiques doit être renforcée et doit réglementer le mouvement des ressources phytogénétiques en conformité avec la Convention sur la diversité biologique, les besoins des pays et les transferts. Un programme national devrait préciser les priorités en matière de conservation, utilisation, domestication, valorisation et promotion des espèces alimentaires spontanées des savanes ainsi que la gestion des ressources génétiques.

CONCLUSION

Les savanes du Zaïre méridional constituent un vaste écosystème herbeux avec de très nombreux faciès, reflétant les conditions mésologiques spécifiques et abritant une flore riche et diversifiée. Elles recèlent des ressources phytogénétiques potentielles que l'on peut valoriser. Un inventaire préliminaire portant sur les plantes alimentaires cultivées et non cultivées fait état de plus de deux cents espèces et variétés couramment exploitées pour leurs tubercules, racines, tiges, feuilles, fruits et graines. Ce sont des plantes alimentaires, médicinales, fourragères, pour la construction et divers autres usages. Afin de garantir la conservation et l'utilisation rationnelle de cette richesse et de cette diversité spécifique, il est nécessaire de bâtir un cadre conceptuel régional qui réfléchisse aux divers aspects se rapportant à la protection de la diversité biologique en place, incluant des mesures de suivi à long terme, les stratégies de valorisation de cette richesse par des méthodes traditionnelles et modernes, les mécanismes de soutien aux gestionnaires de la conservation à la ferme et aux propositions sur le rôle respectif des scientifiques et des autres acteurs du développement.

BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme (1979). Tropical Legumes: Resources for the Future. Washington DC, National Academy of Sciences, 331p.
- Devred R. (1956). Les savanes herbeuses de la région de Mwazi (Bas-Congo). Publ. INEAC, sér. sci. 65, Bruxelles, 115 P.
- Devred R. (1958). Végétation. In : Notice explicative de la Carte des sols et de la végétation du Congo belge et du Ruanda-Urundi. INEAC, Bruxelles.
- Duvigneaud P. (1952). Les savanes du Bas-Congo. Essai de phytosociologie topographique. Liège, Leujenia, 10, 1949.
- Duvigneaud P. (1953). La flore et la végétation du Congo méridional. Lejeunia, 16, Liège : 96-124, 1 carte.
- IUCN, Unesco & FAO (1989). Ressources phytogénétiques, FAO, Rome, 39 P.
- Kamanyoha Kyamulesere (1988). Contribution à l'étude de la valeur nutritive des feuilles de *Psophocarpus lecomtei*. ISP/Gombe, Kinshasa, inédit., 42 p.
- Lock J.M. (1989). Legumes of Africa. A check- List, Royal Botanic Gardens, Kew, 619 p.
- Lubini A. & Belesi K. (1994). La flore phanérogamique des hauts plateaux méridionaux du Zaïre, Inédit., Kinshasa.
- Lubini A. (1990). Les plantes utilisées en médecine traditionnelle par les Yansi de l'entre Kwilu-Kamtsha (Zaïre), Mitt. Inst. Allg. Bot. Hamburg: Band 23b S 1007- 1020 (C-R de la réunion plénière de l'AETFAT, Symposium VIII).
- Lubini A. (1994). Utilisation des plantes par les Yansi de l'entre Kwilu-Kasai (Zaïre), In C-R. 13^e réunion plénière de l'AETFAT, Zomba, Malawi 2-11 avril 1991. Vol. I: 53-74.
- Mbombe-Mbombe (1986). Contribution à l'étude de la composition chimique des *Dracaena* : Composition chimique globale des fleurs de *Dracaena nitens*. Inédit.; ISP/Gombe, Kinshasa, 51 p.
- Mokuba O. (1987). Contribution à l'étude chimique des *Annona*. Composition chimique de la pulpe du fruit d'*Annona senegalensis*. Inédit. ISP/Gombe, Kinshasa, 40 p.
- Muteba M. (1986). Contribution à l'étude chimique des *Dracaena*. Composition chimique globale de la pulpe du fruit de *Dracaena nitens*. Inédit. ISP/Gombe, Kinshasa, 44 P.
- Ngoyi M. (1998). Obtention des sirops de fruits à base des fruits de *Dracaena nitens* et d'*Anisophyllea quangensis*. ISP/Gombe, Kinshasa, Inédit., 33 p.
- Nkasi M. (1994). Quelques essais de domestication d'*Anisophyllea quangensis* à Kinshasa. ISP/Gombe, Kinshasa, Inédit., 36 p.
- Numbi M.B. (1988). Contribution à l'étude de la composition chimique globale des fruits et amandes d'*Anisophyllea quangensis*. ISP/Gombe, Kinshasa, Inédit., 38 p.
- Onyembe P.M.L., Paulus J., Mukeinga K. & Kembola K. (1980). Study of the food-value of *Psophocarpus palustris* Desvaux. Rev. Zaïroise des Sciences nucléaires, Vol. 1, n°2, Kinshasa.
- White F. (1983). La végétation de l'Afrique. Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique. UNESCO/AETFAT/UNSO, Traduit de l'anglais par Bamps P., ORSTOM-UNESCO. 384 p., une carte.

ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES ET CULTURELS LIES A LA CONSERVATION ET L'AMENAGEMENT DES RESSOURCES GENETIQUES DE *PARKIA BIGLOBOSA* EN AFRIQUE DE L'OUEST

Ouédraogo A.S.

Institut International pour les Ressources Phytogénétiques (IPGRI), Rome, Italie

INTRODUCTION

Parkia biglobosa (Nété ou Néré) est une espèce agro-forestière des zones soudaniennes d'Afrique occidentale. Le Néré est considéré comme l'arbre des champs par excellence, très utile au paysan en raison des fonctions multiples qu'il remplit au bénéfice des populations locales. Cette importance du Néré dans la vie du paysan lui vaut son intégration complète, depuis des temps reculés, dans le système de production agro-sylvopastoral. Le parc à Néré doit son existence et sa physionomie à l'intervention de l'homme. C'est ce dernier qui disperse consciemment ou non les graines. C'est encore l'homme qui épargne les jeunes pousses, les protège et pratique sur les arbres des traitements sylvicoles appropriés garantissant non seulement leur survie, mais aussi leur bonne production. Ce sont donc les pratiques humaines qui, depuis des millénaires, ont construit, façonné et modelé les parcs arborés. Si l'existence et les caractéristiques des parcs de Néré sont liées aux soins que l'homme leur apporte, réciproquement les Nérés procurent en retour à l'homme d'immenses biens et services. En effet, toutes les parties de cet arbre nourricier sont mises à profit pour plusieurs usages : les graines, la pulpe, l'exocarpe des gousses, les écorces du tronc, les feuilles et les racines sont largement utilisés. Ainsi, ces arbres, lorsqu'ils sont présents dans les champs, portent une riche signification ; ces parcs constituent un indicateur intéressant d'agro-systèmes (Seignobos, 1991). La végétation anthropique sélectionnée a donc été intentionnellement établie pour répondre à des besoins locaux, des stratégies de production et des systèmes de sécurité et de survie des populations ainsi que pour remplir des fonctions spirituelles importantes.

En outre, les droits et les règles qui régissent la vie des populations s'appliquent également au Néré. En effet, ces arbres se donnent, se partagent, s'héritent, se transmettent. Ils constituent de riches symboles, souvent représentés lors des circonstances ou des événements qui jalonnent et marquent la vie de l'homme dans la société, en particulier la naissance, le baptême, l'initiation, les fiançailles, le mariage, le décès, le partage de l'héritage, etc. En raison de la place centrale qu'il occupe dans la société, le Néré apparaît surtout et avant tout comme un arbre social. Il est vénéré et respecté par la plupart des sociétés traditionnelles des zones soudaniennes. Dans un tel contexte, il est possible que les pratiques sociales aient contribué et de façon dynamique dans le temps et dans l'espace à la production des ressources agro-forestières. Par conséquent, l'homme aurait influencé de manière significative le niveau et l'organisation de la diversité génétique dans toute l'aire de distribution de l'espèce.

L'APPROCHE

Une approche bidirectionnelle a été utilisée pour recueillir le savoir et le savoir-faire locaux ou populaires (Bergeret, 1990 ; Bahuchet, 1991).

Le Néré tel que perçu de l'intérieur du terroir villageois par les paysans eux-mêmes : il s'est agi, par les enquêtes de terrain, de recueillir le savoir populaire sur cet arbre, la perception qu'ont les paysans de cet arbre à dimensions multiples ainsi que la connaissance millénaire qu'ils ont de ses différentes parties et éléments. Pour ce faire des équipes de recherche ont utilisé une fiche d'enquête détaillée préparée à cet effet. Il s'agit en fait de révéler le savoir spécifique sur le Néré qui est en réalité lié à un ensemble de croyances, de visions et de manières dont les populations locales conçoivent et se représentent le monde et l'univers. Cette approche a également permis de révéler les motivations intérieures et profondes qui sous-tendent la conservation, la régénération et l'utilisation de cet arbre.

Le Néré tel que perçu, représenté et analysé par la plupart des intervenants extérieurs à la communauté villageoise : administration, techniciens, scientifiques, etc. Par les enquêtes et des études de laboratoires,

nous avons cherché à connaître et à comprendre les pratiques et les techniques de gestion des arbres et des peuplements, la régénération de l'espèce, le mode de conservation des peuplements ainsi que tout le système de transformation, de commercialisation, d'utilisation et de consommation des produits de *P. biglobosa*. En particulier, les enquêtes ont permis de mettre en évidence les critères de sélection des Nérés adoptés par les populations locales. Ces critères se sont forgés au long de siècles d'insertion humaine dans des environnements spécifiques. Chaque communauté locale connaît mieux les Nérés qui sont présents sur son terroir. Ce sont en effet les paysans qui les sélectionnent en fonction de leur adaptation au milieu et de leurs qualités intrinsèques (quantité/qualité des arbres, gousses, graines, pulpe, etc.).

Ces données ont été analysées en vue d'interpréter les attitudes, les croyances, les pratiques et les techniques utilisées par les paysans dans la gestion de cette ressource. Cette analyse a revêtu un caractère multidisciplinaire dans la mesure où elle a été réalisée en liaison avec des biologistes, des botanistes, des sociologues, des linguistes, des anthropologues, des écologistes, des économistes, des médecins, des pharmaciens, des agronomes et des forestiers.

LE NERE DANS LE CHAMP DU PAYSAN

Association et influence du Néré sur les cultures

Les enquêtes faites auprès des paysans ont fait ressortir le rôle vital que joue le Néré en tant qu'élément du système de production agricole. En effet, la présence du Néré dans le champ résulte d'un compromis dont la finalité est la diversification de la production agricole. Ainsi, les arbres dans le champ sont un indicateur intéressant d'agro-système (Seignobos, 1991). L'arbre a besoin du paysan et de son champ pour mieux se développer et produire. Dans la jachère, sa fructification est compromise non seulement par les feux de brousse annuels mais aussi par le manque de traitements sylvicoles d'entretien.

En retour l'arbre rend au paysan d'énormes et divers services qui concourent à la satisfaction de ses besoins physiques, matériels et spirituels. S'il est vrai que le Néré, de par sa cime étalée et de l'ombre produite, entraîne un effet dépressif sur les cultures annuelles, les paysans ont le savoir, dans certaines régions, de tirer le meilleur profit de ces arbres, cela en conduisant la forme des arbres par des tailles appropriées et en organisant les espèces des cultures d'ombre sous la cime des arbres (telles que aubergines, piments, etc.). Ainsi les rendements en sorgho et petit mil connaissent une baisse de l'ordre de 30 à 70% sous le houppier de grands et vieux Nérés, selon qu'ils sont insuffisamment entretenus ou pas du tout (Kessler et Boni, 1991 ; Kater, Kanté et Budelman, 1991 ; Maïga, 1987).

Les études ci-dessus mentionnées montrent que c'est l'effet d'ombrage qui est le plus préjudiciable à la croissance des cultures (sorgho, petit mil, coton) et à leur rendement sous les houppiers des karités et des Nérés. En outre, les cultures y mûrissent moins vite qu'en dehors du houppier et sont plus sujettes aux attaques des insectes et des parasites. Les résultats montrent qu'il existe une forte relation entre le pourcentage de lumière et les rendements de sorgho blanc, malgré le fait que sous le houppier du Néré la fertilité du sol est plus élevée qu'en dehors (Kessler, 1992). Cet auteur semble suggérer qu'au-delà de 50% de lumière les rendements des cultures ne sont pas influencés négativement. Selon son estimation, la perte des rendements de sorgho au voisinage de 3 grands Nérés et 8 grands karités, correspondant à une couverture du sol par les houppiers de 12% par hectare, serait de l'ordre de 6%. Par ailleurs, la fertilité du sol est aussi favorable sous les arbres qu'en dehors des houppiers. Les profits réalisés par la vente des produits des arbres compensent largement les pertes de rendements céréaliers, ce qui explique que les arbres sont tolérés et acceptés dans les champs (Kessler, 1992). En outre, la présence des Nérés dans le champ est le résultat d'une stratégie délibérée en vue de disposer d'aliments de disette, donc pour réduire les risques de famine ou augmenter les possibilités de soudure.

REGENERATION NATURELLE ET ARTIFICIELLE

D'une manière générale au Burkina Faso, de la partie centrale (700 mm de pluie par an) jusqu'à la limite nord de distribution de l'espèce (500 mm), la régénération de *P. biglobosa* est faible sinon presque absente. Les peuplements sont alors caractérisés par de grands arbres à gros diamètre, généralement vieillissants et peu productifs. L'intérêt porté à la régénération assistée dépend des régions et des habitudes des populations. Au sud et au sud-ouest du pays, en raison de conditions écologiques

favorables, la régénération naturelle est relativement abondante: le rôle du paysan consiste alors à disperser les graines dans son champ sans disposition particulière. Cependant, dans le Houet, notamment à Toussiana, l'habitude consiste à semer le Néré en même temps que le fonio. La plantation de Néré sous forme de vergers n'est pas une tradition bien que quelques cas aient été recensés dans le Houet et exceptionnellement sur le plateau central (Kouritenga, Sanmatenga et Passoré).

Les peuplements le long de la voie ferrée Abidjan-Ouagadougou-Niger auraient été constitués par les ouvriers engagés dans les travaux forcés. Les jeunes gens du pays bisssa qui étaient recrutés pour les travaux forcés devaient emporter avec eux des stocks suffisants de pulpe et de graines de Néré pour se nourrir (Guinko, 1985). Ainsi, les peuplements qui longent aujourd'hui la voie ferrée pourraient être le témoignage de cette régénération assistée par l'homme. De par ses mouvements, l'homme aurait pu entraîner des brassages entre les populations de *P. biglobosa* provenant de diverses régions éloignées entre elles.

Le semis direct de *P. biglobosa* est une méthode possible pour la régénération artificielle. Les essais conduits au Burkina Faso montrent qu'il est tout à fait possible de réussir des plantations de Néré à partir de semis directs (Ouédraogo M., Ouédraogo A.S., 1984). En effet, comparés à *Faidherbia albida*, les essais ont mis en évidence que le semis direct de *P. biglobosa* donne de meilleurs résultats dans différentes zones écologiques du pays (sud-soudanien et nord-soudanien). Par ailleurs, la zone de climat sud-soudanien apparaît comme étant la mieux indiquée pour mieux réussir des plantations par semis directs. En effet, l'essai a montré que la quantité d'eau de pluie tombée ainsi que sa répartition dans le temps serait un facteur limitatif pour le développement des plantules dans les zones plus sèches. Bien que l'essai n'ait pas pu mettre en évidence des différences significatives par rapport au type de préparation du sol, les résultats suggèrent l'intérêt d'un bon travail du sol qui a un effet positif et bénéfique surtout lors des petites poches de sécheresse pour la survie des plantules après la saison sèche. Il en est de même de l'application d'un pré-traitement approprié afin de garantir aux semences une germination rapide et homogène. Enfin, les résultats soulignent la nécessité d'entretenir les parcelles par des désherbages et des pare-feu, ainsi que la protection contre le brout du bétail, condition *sine qua non* à la réussite de plantations de Néré par semis directs.

Au nord du Bénin, nous avons constaté que le semis direct et la conduite des peuplements de *P. biglobosa* sont entrés dans la tradition. Après avoir défriché son nouveau champ, le paysan béninois sème du *P. biglobosa* en même temps que les cultures. Cette pratique est enseignée et transmise aux enfants. De beaux et vastes peuplements sont rencontrés dans cette région. Par ailleurs en Centrafrique, *P. biglobosa* est semé directement en ligne, en tant que méthode d'assolement afin de valoriser la jachère suivante (Depommier et Fernandez, 1985). Au Niger, lors des opérations de récolte, les paysans nous ont conduit sous le Néré reconnu par tous et parmi les autres arbres du terroir du village comme étant le plus apprécié pour la qualité de ses fruits. Ce sont des arbres de ce type dont les paysans préfèrent obtenir les semences pour les disperser dans leur champ et qu'ils protègent et entretiennent avec davantage de soins. Compte tenu de ce qui précède, on peut conclure que partout où cela est encore possible, les jeunes pieds de *P. biglobosa* sont épargnés et entretenus. Toutes les populations des différentes régions reconnaissent en effet que le Néré a toujours été un des arbres du présent dans le terroir du village grâce à l'intérêt et aux soins que lui procure l'homme.

Au Kénédougou (Burkina Faso), notamment à Koloko, les populations racontent que les parcs de Nérés se seraient constitués à la suite des déplacements massifs de l'armée de Samory Touré dans la région. Ils se rappellent encore que ces soldats se nourrissaient de graines et de pulpe de Néré. Ce seraient donc ces guerriers chargés de Néré qui auraient favorisé l'installation et le développement des grands peuplements de *P. biglobosa* dans la région, qui continuent à se régénérer jusqu'à présent.

En conclusion, dans toutes les provinces échantillonnées au Burkina Faso, les populations sont en général réceptives à la régénération artificielle de Néré, soit par semis direct, soit par plantation. Il n'en demeure pas moins qu'à la Sissili certaines croyances véhiculent l'idée selon laquelle tout planteur de Néré meurt en général avant d'avoir goûté à ses fruits. A Dingasso par contre, la régénération du Néré serait attribuée aux génies qui, après s'être nourris de fruits de Néré, en assureraient sa dissémination par leurs selles. De telles croyances sont de nature à décourager la réalisation de vergers de Nérés, ce qui pourrait constituer un obstacle à la régénération et au développement de l'espèce. Enfin, la plantation de Nérés est possible même si certains aspects sylvicoles restent encore à préciser, tels que les écartements, les associations, les cassures de branches, les chutes d'arbres (Bonkougou, 1987).

PRATIQUES TRADITIONNELLES DE GESTION DES ARBRES (PHYTOPRATIQUES)

Au Burkina Faso, le Néré est rarement planté, presque jamais abattu, mais souvent taillé. En effet, dans plusieurs régions, certains chefs de terre n'hésitent pas à déposséder un paysan qui aurait abattu un Néré dans le champ sans raison valable (Ouattara, 1989). Cependant, à l'ouest du pays, notamment au KénéDougou où la régénération naturelle est forte (jusqu'à 30 pieds/ha), il peut arriver que quelques pieds soient occasionnellement supprimés pour éviter que la forte densité ne devienne préjudiciable aux cultures. Le mode de gestion des peuplements est différent selon les régions. Tandis qu'au sud et à l'ouest du pays les peuplements sont régulièrement rajeunis, sur le plateau central ils sont protégés comme tels même si, en quelques endroits, il est possible de rencontrer des individus rajeunis. En effet, les paysans de certaines régions, mieux que d'autres, possèdent une longue tradition et une expérience pratique de la taille des arbres, pratiquée dans les buts suivants :

- Augmenter la production de fruits - La taille intervient lorsque la production fruitière diminue. Il s'agit généralement des arbres adultes ou vieux. Les stades architecturaux auxquels la taille est pratiquée ont été décrits par Binnekamp, 1992. Il peut s'agir d'un élagage partiel au niveau des branches qui ne produisent plus de fruits ou de toutes les branches de l'arbre. Cependant, trois ans après la taille, les paysans ont observé que les arbres produisent une plus grande quantité de gousses qu'avant l'intervention.
- Eviter la compétition pour l'eau et la lumière au niveau des cultures - Le but de la taille peut être de supprimer des branches qui pendent vers le sol ou de donner une forme aux jeunes arbres ou branches de manière à favoriser le développement d'un seul tronc (taille de forme). Par ailleurs, ce traitement peut avoir pour rôle de diminuer l'étalement du houppier, de le faire monter afin d'obtenir une cime élancée.
- Eliminer les branches mortes - Dans ce cas, ce sont seulement les parties qui commencent à se dessécher qui sont prélevées. Cependant, dans certains cas, lorsque l'arbre commence à montrer des signes de stérilité ou de faiblesse, la taille peut concerner tout l'arbre au niveau d'ordres de ramification primaire, secondaire et tertiaire. Cette pratique est couramment utilisée par les paysans qui en tirent un double intérêt : l'augmentation de la production et la disponibilité de bois sec comme bois de chauffe, qui présentent un réel intérêt compte tenu de la crise énergétique actuelle que vivent les populations rurales.

Récolter des gousses ou plus rarement du bois de feu

Lors des opérations de récolte des gousses, surtout lorsque les fruits ne sont pas encore bien mûrs, beaucoup de branches peuvent être cassées de manière accidentelle. L'arbre subit ainsi une taille non désirée, ce qui aura pour conséquence une faible production l'année suivante. Dans certaines régions, quand les fruits sont mûrs, l'ouverture de la récolte des fruits est réglée traditionnellement par le chef de village. De telles règles de gestion des peuplements permettent en fait de sauver les Nérés des récoltes incontrôlées et abusives. En ce qui concerne le prélèvement de bois de feu, cette intervention est observée dans les régions où la crise énergétique est aiguë et concerne seulement les rameaux qui sont desséchés sur l'arbre ou qui sont tombés au sol.

MODES ET PRATIQUES DE GESTION DES PARCS DE NERES PAR LE POUVOIR TRADITIONNEL ET LA LEGISLATION FORESTIERE MODERNE

Pouvoir politique et religieux traditionnel

Au Burkina, exception faite du KénéDougou et du Boulgou où le Néré appartient traditionnellement au propriétaire du champ, il est généralement la propriété du chef de terre, l'exploitant du champ n'ayant que l'usufruit. Cette disposition n'est pas toujours de nature à responsabiliser les paysans pour une meilleure régénération et un entretien régulier des parcs. Chaque année, il récolte les fruits dans le champ qu'il exploite, présente la récolte au chef qui en prélève une certaine partie qui peut être symbolique. Par contre, les arbres dans les jachères et dans la brousse peuvent être récoltés sans disposition particulière. Il convient cependant de mentionner que de nos jours ces pratiques sont de plus en plus délaissées. Posséder des Nérés est devenu un élément de différenciation sociale dont l'exclusivité échappe au chef

de terre ou au chef de village. Ainsi, les arbres se prêtent, se donnent et s'héritent. Il est aujourd'hui possible au chef de village, à un ancien ou à une personne influente du village de posséder des Nérés.

Au Burkina, notamment dans les provinces du Plateau Central (Ganzourgou, Sanmatenga, Passoré), il existe encore un rituel de récolte qui incombe au chef de village. C'est à lui que revient la primeur de consommer « le soumbala nouveau » de l'année avant d'autoriser l'ouverture de la récolte des fruits de *P. biglobosa*. La sauce qui lui est préparée est appelée « kiim kalogo », littéralement « le soumbala des âmes des défunts ». Il l'offre au préalable aux « dieux » de l'arbre en signe de reconnaissance et pour renouveler ce bienfait au cours des années suivantes. Ces mêmes pratiques nous ont été rapportées au Mali (Moribila) et au Niger. Cependant, ces règles ou mesures traditionnelles de gestion qui régissaient l'exploitation des parcs de *P. biglobosa* sont en train de se perdre progressivement et sont de moins en moins respectées. Dans la plupart des cas, la récolte de fruits dépend du propriétaire du champ qui décide de la date de la récolte. En raison de la pression de plus en plus forte qui s'exerce sur ces arbres et des vols fréquents, le propriétaire préfère courir moins de risques en procédant à la récolte avant la pleine maturité des fruits. Cette situation a été constatée dans la plupart des pays visités (Niger, Tchad, Burkina, Côte d'Ivoire, Mali, Sénégal).

Législation forestière moderne

Comme mentionnée précédemment, la législation forestière telle que formulée et appliquée n'a pas permis une responsabilisation des paysans à la gestion de leurs parcs. La faiblesse de la réglementation forestière consiste à considérer les arbres des parcs, en particulier le Néré, comme étant une espèce intégralement protégée. Autrement dit, aucune intervention n'est permise sur ces arbres, à l'exception de la cueillette des fruits ou de la récolte du bois mort. Ainsi, au Mali, dans la région de Ségou, des orages en début de saison pluvieuse ont occasionné des dégâts importants aux arbres qui sont soit cassés, soit totalement déracinés. Un paysan indigné ne nous disait-il pas que « nous avons peur des forestiers qui nous refusent des permis de coupe pour entretenir les arbres que nous avons hérités de nos pères et nous assistons comme eux, impuissants, à leur destruction, car, sans la taille, ces arbres ne sauraient produire de façon continue et soutenue ». La seule intervention sylvicole paradoxalement autorisée par la législation forestière est le prélèvement du bois mort alors que l'arbre est devenu sénescant ou lorsqu'il est mort.

LE NERE DANS L'ECONOMIE RURALE

Le Néré dans l'alimentation

Dans la plupart des pays où les opérations de récolte ont été organisées, *P. biglobosa* joue un rôle très important dans l'alimentation des populations des zones soudaniennes. Cependant, dans la zone guinéenne (par exemple au pays Baoulé de Côte d'Ivoire), l'espèce est moins valorisée. Au Burkina Faso, les usages du Néré dans l'alimentation sont d'une manière générale partout les mêmes :

- à partir des graines, les femmes préparent un condiment, Kalogo ou Soumbala, appelé moutarde traditionnelle, qui est largement utilisé dans la préparation des diverses sauces. D'ailleurs, au Burkina et au Mali, les populations désignent la sauce (à base de soumbala, de sel et d'eau) de « soupe de pintade qui a fui » car elle s'apparente en effet à la soupe de pintade du point de vue du goût. Très riche en protéines, elle est d'ailleurs utilisée pour remonter les malades. Ces moutardes peuvent être préparées selon diverses formes ;
- les graines grillées et réduites en poudre mélangées à de l'eau sont utilisées comme boisson chaude dans certaines provinces du Burkina Faso telles que le Kouritenga et le Kénédougou. Ce « café de Néré » serait en outre un bon régulateur de la circulation sanguine ;
- la farine de la pulpe se consomme directement ou délayée dans de l'eau et constitue alors une boisson sucrée et rafraîchissante. Mélangée à la farine de mil, elle est utilisée pour la préparation de couscous ou de gâteaux. Ces produits se conservent bien et, en période de soudure ou en cas de fléau naturel (invasion de sautériaux), la pulpe de Néré est d'un apport considérable. De nombreuses personnes doivent aujourd'hui leur vie à cette nourriture qui a une grande valeur au moment où il n'y a plus beaucoup ou rien à manger au Sahel ;
- les gousses, grillées alors qu'elles sont encore immatures, sont très appréciées par les enfants, de même que le nectar sucré.

Tandis que le soumbala, produit de fermentation obtenu à partir de la graine de Néré, est très riche en protéines (41,8%), la pulpe, par contre, est pauvre en protéines (3,4%), mais très riche en sucres. La teneur totale en glucides s'élève à 80,7% (Ouedraogo, 1987). Selon le même auteur, la teneur en sucres réducteurs est élevée, notamment en fructose (11,6%), en glucose (11,9%) et en saccharose (18,7%).

Une étude sur l'utilisation de produits alimentaires et forestiers à Zitenga, (un village du Plateau Central) a fait ressortir que 93% des ménages utilisent le kalogo dans la préparation des sauces tandis que 55% des ménages recourent à l'utilisation des cubes « Maggi ». Selon cette étude, le poids moyen de kalogo utilisé serait de 3 g/personne/jour et représente, parmi les produits forestiers recensés, celui dont l'utilisation est la plus répandue et la plus importante en quantité (Smeenck, 1991).

Le Néré dans le commerce

Au Burkina, trois types principaux de produits font essentiellement l'objet de transactions commerciales dans les villages, entre les villages, les villes, les régions et même avec certains pays. Ce sont : les graines crues, les graines fermentées et la pulpe. A ces trois produits, s'ajoutent les écorces, les feuilles, les racines (Sissili et Houet) et l'exocarpe (Nahouri) à des fins pharmacologiques et d'artisanat. Ces différents produits sont prélevés dans les zones les mieux pourvues et sont écoulés vers celles qui en sont « déficitaires ». Dans la plupart des villages du Plateau Central, la récolte locale est insuffisante pour couvrir tous les besoins ; aussi les commerçants vont-ils « importer » les trois principaux produits ci-dessus cités des autres régions telles que le pays Bissa, la boucle du Mouhoun, le Poni et même le Ghana. Les régions ouest et sud sont, quant à elles, autosuffisantes en produits du Néré.

Une récente étude sur la commercialisation et l'utilisation des produits alimentaires et forestiers dans un village mossi, Zitenga, au Burkina Faso, a fait ressortir 10 produits relativement importants du point de vue commercial (Smeenck, 1990). Ce sont :

- les graines fermentées (soumbala) du Néré
- la farine de pulpe du Néré
- les fleurs séchées de *Tamarindus indica* (Tamarinier)
- les noix de *Butyrospermum paradoxum* subsp. *parkii* (Karité)
- les fleurs de *Bombax costatum* (Kapokier)
- les fleurs fraîches d'*Adansonia digitata* (Baobab)
- les feuilles séchées du Tamarinier
- les feuilles séchées du Baobab

Elle a fait également ressortir que l'offre sur le marché des graines et de la farine de la pulpe du Néré est largement déterminée par les hommes. En effet, ils constituent des négociants grossistes qui achètent ces produits dans les marchés du sud et de l'ouest du pays pour les revendre en détail aux femmes, soit sur le même marché sous forme brute ou après transformation, soit dans d'autres marchés. L'offre du « soumbala » est, quant à elle, largement déterminée par les femmes, mais celles-ci dépendent du marché local pour leur approvisionnement. Leurs marges bénéficiaires sont relativement faibles. Les prix varient selon les sources d'approvisionnement, les marchés et la négociation.

LE SAVOIR-PAYSAN SUR LA DIVERSITE DES PEUPELEMENTS DE *P. BIGLOBOSA*

Les critères de sélection populaire

Les paysans identifient le Néré comme étant « l'arbre qui aime la compagnie de l'homme ». En retour, les pratiques humaines ont contribué dans une certaine mesure à modifier la structure de la diversité de l'espèce. En effet, c'est l'homme qui contribue à l'installation et au développement des parcs de Néré. En outre, les paysans savent, certainement depuis longtemps, reconnaître les différences entre les pieds de Néré dans les limites de leur terroir. Ils dispersent en conséquence les semences des meilleurs arbres selon les caractéristiques et les qualités de produits qu'ils désirent obtenir.

Les exemples ci-dessous illustrent l'impact de l'homme sur la diversité de l'espèce. Au Niger, au cours des opérations de récolte, un paysan nous a conduit sous l'arbre qui est connu de tous comme étant celui qui produit les fruits les plus sucrés de tout le village. En effet, l'arbre avait des fruits dont la pulpe était

particulièrement sucrée. Au Tchad, les paysans nous ont indiqué l'arbre qui, exceptionnellement, produit deux fois l'an.

Au Mali, ce sont encore les paysans qui nous ont indiqué avec fierté l'arbre le plus productif de tout le village. Il était effectivement chargé de lourdes grappes, avec de grosses gousses. Au Kouritenga et au Sanmatenga, les paysans distinguent les arbres dont les gousses contiennent plus de graines (Néré à graines) par rapport à ceux qui contiennent plus de pulpe (Néré à pulpe). D'une manière générale, les caractères de variation reconnus par les paysans entre les arbres d'un même peuplement sont les suivants :

- au niveau du fruit : la forme, la taille la couleur ;
- au niveau de la graine : la couleur, la taille, la quantité de graines par fruit, l'aptitude à produire du bon soubala ;
- au niveau de la pulpe : couleur, quantité de la pulpe et sa saveur ;
- au niveau de la floraison : quantité, qualité, période (précoce ou tardive) ;
- au niveau de la fructification : quantité, périodicité.

En outre, les paysans reconnaissent que :

- la production fruitière d'un arbre peut varier dans le temps : aux années de bonne fructification peuvent succéder de mauvaises en fonction des aléas climatiques. Cependant, selon les paysans, il est possible d'augmenter la production annuelle d'un arbre en pratiquant une incision circulaire autour du tronc de l'arbre ;
- les fruits d'un même pied ne sont pas identiques à tout point de vue « tout comme les enfants d'une même mère peuvent ne pas se ressembler » ; certaines graines appelées « welba » en mooré ou « tchozouakina » en gourounsi seraient difficiles à cuire et se prêtent donc mal à la préparation du « soubala ». Par contre pour la plupart des paysans, la qualité du soubala est davantage liée à la technique de préparation qu'à la qualité de la graine elle-même (Burkina, Mali).

Différences entre « Néré noir » et « Néré blanc »

Il convient tout d'abord de mentionner que les expressions « Néré noir » et « Néré blanc » sont utilisées par les paysans surtout pour faire ressortir le contraste, la différence de couleur ou de structure qui existent entre les écorces de troncs des deux types de Néré. En réalité, le Néré blanc a plutôt une écorce de couleur brunâtre tandis que celle du Néré noir est plus foncée.

Au Burkina, c'est surtout dans certains villages du Plateau Central (Ganzourgou, Kouritenga, Sanmatenga) et aussi dans le pays Gourounsi (Sissili et Nahouri) que les deux « formes » de *P. biglobosa* ont été rencontrées. Dans la partie ouest et sud du pays, les paysans ne font pas la différence entre ces deux « types ». Dans les provinces du sud, du sud-ouest et de l'ouest (Houet, Comoé, Kénédougou, Poni), les populations, tout en reconnaissant l'existence de différences entre les pieds, ne peuvent pas établir une relation entre un caractère botanique donné et les deux formes de Néré :

- Au Houet et à la Comoé, la couleur de l'exocarpe n'est pas un critère de distinction. Les populations imputent la différence de couleur au degré de maturité des fruits à la récolte : plus l'exocarpe est noir, moins le fruit est mûr.
- Au Poni, la différence de couleur de la pulpe est attribuée également au degré de maturité. La pulpe de couleur jaune serait issue de fruits qui n'étaient pas bien secs avant la récolte. Par contre, les fruits mûrs, mais non secs, récoltés et séchés au soleil auraient une pulpe de couleur blanchâtre.
- Enfin, au Kénédougou, quelques rares personnes reconnaissent la différence de couleur et d'aspect du tronc, mais l'attribuent à l'âge. Même dans les régions où les deux formes ont été identifiées, certains paysans ont des avis très proches de ceux du sud et du sud-ouest.
- Ainsi, au Kouritibiyarga (Koupèla), les populations reconnaissent qu'il existe une différence de couleur entre les pieds, mais pour eux la couleur de l'écorce serait fonction de l'âge de l'individu. Ainsi les individus âgés ou très âgés auraient, en général, une écorce noirâtre tandis que les jeunes pieds auraient une écorce blanc-brunâtre. C'est donc avec l'âge que l'écorce deviendrait de plus en plus noirâtre.

Interrogés sur le fait que certains jeunes Nérés auraient déjà une écorce noirâtre, les paysans pensent que la couleur serait déterminée par certaines conditions particulières dans le sol. Ils expliquent en outre la rareté du Néré blanc par le fait qu'il est très vulnérable aux attaques. En dernière analyse, il ressort qu'au Burkina Faso le Néré blanc serait une forme à croissance rapide mais sensible aux attaques, tandis que le

Néré noir serait une forme plus résistante, ayant une plus grande longévité, plus appréciée, car étant plus productive en fruits de meilleure qualité.

CONCLUSION

Cette étude socio-économique de *P. biglobosa* aura permis de recueillir et de révéler le savoir paysan ancestral ainsi que les attitudes, les usages et les pratiques d'aménagement des peuplements et des arbres. Elle a permis de mieux comprendre les motivations des paysans à conserver et à assister la régénération naturelle, à planter et à continuer de tirer un meilleur profit de ces arbres. Cette représentation paysanne de l'arbre ne coïncide pas souvent avec la vision et la compréhension qu'ont la plupart des intervenants extérieurs à la communauté villageoise.

La présence du Néré dans le champ relève d'un compromis dont la finalité est la diversification de la production agricole. L'influence négative des grands Nérés peut être notablement minimisée par des tailles de formation appropriées. Parmi les interventions sylvicoles possibles, la taille est celle qui est particulièrement recommandée pour *P. biglobosa* en raison de son fort potentiel de rejet (comme généralement les plantes de la famille des *Leguminosae* : Oldeman, 1986), comparé par exemple au *Butyrospermum paradoxum* subsp. *parkii* (Karité) de la famille des *Sapotaceae* qui a un pouvoir de régénération faible.

La régénération artificielle du Néré est possible. Notre étude a permis de relever quelques pratiques traditionnelles de régénération de l'espèce tant au Burkina Faso, au Bénin que dans les autres pays en Afrique occidentale et centrale. Il s'agit, entre autres, de semis en même temps que d'autres cultures et de semis directs pour l'établissement de vergers. De telles pratiques méritent d'être vulgarisées là où cela est possible. En effet, hormis les contraintes écologiques, dans certaines régions, la régénération artificielle, assistée par l'homme est compromise en raison de certaines croyances ancestrales. Il s'agira donc de mieux comprendre ces perceptions paysannes afin de rechercher les meilleures voies pour lever ces contraintes sociales.

Compte tenu des contraintes liées à la régénération naturelle des parcs de Nérés et des possibilités de régénération artificielle par semis direct ou par plantation, ainsi que des résultats encourageants obtenus pour le greffage (Ouédraogo A.S. et Tolkamp G. W., 1992), il est possible de penser que des actions de sauvegarde et de reconstitution des parcs de Néré sont envisageables à grande échelle. Il s'avère donc nécessaire d'approfondir les études sur les pratiques locales de régénération des parcs de Nérés en vue de proposer des méthodes et techniques efficaces de régénération artificielle là où les conditions sont favorables.

BIBLIOGRAPHIE

- Bahuchet, S., 1991. L'homme et le milieu végétal dans le bassin du lac Tchad. Ve Colloque du Réseau Mega-Tchad, Paris, 18-20 septembre 1991, CNRS/ORSTOM; 11p.
- Bergeret, A. & J.C. Ribot., 1990. L'arbre nourricier en pays sahélien. Ministère de la Coopération et du Développement. Ed. de la Maison des Sciences de l'homme, Paris, 237 p.
- Binnekamp, A., 1992. Analyse architecturale de *Parkia biglobosa* (Jacq.). R. Br. ex. G.Don au Burkina Faso. Mem. Etudes, Wageningen Agric. Univ., 92-41, 33 p.
- Bonkounou, G.E., 1987. Monographie du Néré : *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. espèce agroforestière à usages multiples. IRBET/CNRS. Ouagadougou, 42 p.
- Depommier, D. ; E. Fernandes, 1985. Aspects des parcs à Karités-Nérés (*Butyrospermum parkii*, *Parkia biglobosa*) dans la région de l'Ouhan (Rép. Centrafricaine), ICRAF, Rap. prov. 28 p.
- Guinko, S., 1985. La végétation et la flore du Burkina Faso, Doc Ronéo - Ministère de l'Environnement et du Tourisme, Ouagadougou, Burkina Faso.
- Kater, L.J.M., S. Kanté & A. Budelman, 1991. Karité (*Vitellaria paradoxa*) and Néré (*Parkia biglobosa*) associated to crop in South Mali ; Agroforestry System (sous presse).
- Kessler, J.J. & J. Boni, 1991. L'agroforesterie au Burkina Faso, Tropical Resource Management Papers, n° 1, 144 p.
- Kessler, J.J., 1992. The influence of Karité (*Vitellaria paradoxa*) and Néré (*Parkia biglobosa*) trees on Sorghum production in Burkina Faso. Agroforestry Systems 17 : 97- 118.

- Maïga, A.A., 1987. L'arbre dans les systèmes agroforestiers traditionnels dans la province de Bazega, CNRST/IRBET, Ouagadougou, 84 p.
- Ouattara, S., 1989. Quand la moutarde traditionnelle se rebiffe ; Famille et Développement n° 52, Avril 1989, pp
- Ouédraogo, A.S. & Ouédraogo M., 1984. Les semis directs, Méthode de régénération artificielle de quelques espèces au Burkina Faso - CNSF, 20 p.
- Ouédraogo, A.S. & Tolkamp G.W., 1993. Les possibilités de greffage de *Parkia biglobosa*. Bois et Forêts des Tropiques (sous presse.)
- Ouédraogo, M.S., 1987. Contribution à l'étude de la valeur nutritive de la poudre jaune de Néré et du Soumbala. Service de Nutrition, Ministère de la Santé, Burkina Faso, 5 p.
- Seignobos, C., 1991. La problématique des parcs arborés. Ve Colloque du Réseau Mega-Tchad, Paris, 18-20 septembre 1991, CNRS/ORSTOM.
- Smeenk, A.F., 1991. L'arbre et le rôle de ses produits alimentaires au marché et aux ménages. Département de Foresterie, Univ. Agron. Wageningen, Pays-Bas, 79 p.
- Van Der Maesen L.J.G. & Ouédraogo A.S., 1991. *Parkia*, a multipurpose tree of agroforestry in West Africa. Abstract, XIII TETFAT Congress - April Zomba - Malawi.

DIVERSITE PHENOLOGIQUE DES SORGHOS DU MALI ET ADAPTATION A LA DIVERSITE DES AGRO-ECOSYSTEMES - MISE EN VALEUR D'UN SAVOIR

Ouattara M., Vaksman M., Reyniers F.N., Niangado O., Kouressy M.

Institut d'Economie Rurale (IER), Bamako, Mali

RESUME

La démarche agronomique moderne, en cherchant à remplacer les variétés locales par des produits plus performants, entraîne une uniformisation des cultivars. Pourtant, en Afrique de l'Ouest, cet objectif se heurte à la grande rusticité des variétés locales moins sensibles aux rigueurs du climat. La diversité des sorghos du Mali est importante. Elle reflète la grande variabilité du milieu. Les sorghos ont développé des formes très variées et des comportements particuliers qui augmentent la régularité de leur production et sont encore, dans une large mesure, méconnus des programmes de recherche agronomique. Dans ce travail, nous étudions comment l'extrême diversité des situations environnementales entraîne une adaptation des sorghos du Mali.

Plusieurs niveaux de variabilité sont envisagés. Du nord au sud du Mali, la durée moyenne de la saison des pluies passe progressivement de 66 jours à 140 jours. L'étude du comportement d'une petite prospection permet de montrer que les sorghos du Mali sont adaptés à ce gradient climatique de façon à épier environ deux semaines avant la fin de la saison. La variabilité interannuelle de la durée de la saison des pluies est aussi très grande. Elle dépend à la fois de la date d'installation des pluies et de l'étalement des semis, toujours très important en milieu paysan africain. Face à cette situation, les agriculteurs utilisent des céréales photopériodiques dont la durée du cycle varie en fonction de la date de semis. Ce comportement permet l'ajustement du cycle des cultures aux longueurs probables de la saison des pluies. Nous notons l'existence d'autres sources de variabilité comme les situations topographiques et les objectifs des paysans.

En conclusion, les agriculteurs disposent d'un ensemble de variétés qui répondent à ces différents problèmes. Le photopériodisme est un élément déterminant du comportement de la plante et de son intégration dans le système de culture. Cette remarquable adaptation des sorghos au milieu soudano-sahélien ne doit plus être considérée comme un inconvénient. La recherche doit respecter et maîtriser ces caractères pour en faire bénéficier le matériel végétal en cours de création. A l'heure actuelle, les qualités propres aux variétés locales sont le garant de leur conservation dans le milieu rural.

INTRODUCTION

L'activité agricole africaine s'exerce dans un contexte de risques permanents. Les causes en sont variées compte tenu de la multiplicité des facteurs qui interfèrent dans l'élaboration de la production. Les pratiques traditionnelles des paysans sont très diversifiées et résultent d'une importante accumulation de connaissances de leur milieu. Cependant, peu de recherches ont été faites sur les relations entre ces pratiques et les conditions du milieu. Par conséquent, on ignore souvent si elles sont ou non techniquement justifiées (Viguer, 1947 ; Cerighelli, 1955).

L'intérêt pour les pratiques paysannes n'est pas nouveau mais il a été masqué par l'approche technocratique des décennies 60 à 80, qui consistait à croire en la possibilité pour la recherche et le développement de créer des agricultures modernes sans s'appuyer sur les savoirs des paysans (Pichot, 1993). Par conséquent, il nous arrive de nous étonner de la persistance de certaines pratiques apparemment archaïques :

- utilisation des variétés locales dont les potentiels de production sont nettement inférieurs au matériel « amélioré » ;
- persistance des techniques traditionnelles de travail du sol (basses et billons) malgré l'existence de la charrue ;
- faibles densités de semis avec des écartements irréguliers en liaison avec un démarrage rudimentaire ou inexistant ;

- faible utilisation des engrais chimiques (sauf pour les cultures de rente) ;
- pratique généralisée de feux de brousse favorisant le ruissellement et l'érosion.

Certaines pratiques, en apparence archaïques, sont en réalité justifiées si on prend en compte le système de culture dans son ensemble. Le paysan africain a son savoir faire, ses façons culturales et sa manière de gérer les risques. Leur prise en compte est un préalable indispensable à toute intervention susceptible de modifier les pratiques. L'approche descendante des problèmes qui consiste à véhiculer les informations et les innovations du haut vers le bas conduit à proposer de façon normative des « paquets technologiques » souvent inadaptés. En ce qui concerne plus particulièrement le domaine variétal, l'amélioration des plantes s'est orientée vers la création de cultivars très productifs, adaptés à un milieu bien maîtrisé et non limitant. Ces créations variétales devaient remplacer les écotypes locaux et permettre une amélioration notable de la production agricole.

A posteriori, on constate que les variétés obtenues sont peu adaptées aux systèmes extensifs d'Afrique de l'Ouest et que le taux d'adoption des variétés de sorgho « améliorées » issues de la recherche est très faible (Stoop *et al.*, 1981). En dépit de leur potentiel élevé, ces variétés se comportent mal lorsqu'elles se trouvent dans les conditions difficiles du milieu paysan. En conséquence, les agro-écologistes du sorgho se tournent vers une meilleure connaissance des écotypes traditionnels pour en comprendre et en exploiter la diversité (Da Sansan, 1994). A côté du potentiel de rendement, la stabilité de la production et la résistance aux stress climatiques deviennent des objectifs prioritaires (Matlon, 1985). A ce titre, le photopériodisme des sorghos du Mali qui permet de réguler le développement en fonction du climat joue un rôle essentiel.

Le sorgho est une plante photopériodique qui fleurit plus rapidement lorsque la durée du jour décroît. Pour de nombreuses variétés, la floraison n'est possible que si la photopériode descend en dessous d'un seuil critique. En pratique, le photopériodisme provoque un raccourcissement de la durée du cycle lorsque le semis est retardé.

L'agriculture moderne emploie, en grande majorité, des cultivars insensibles à la photopériode dont le comportement est aisément prévisible quelque soient les conditions de semis. Les variétés photopériodiques sont pourtant très répandus dans les milieux où les pluies de début de saison sont imprévisibles et où les risques d'excès d'eau, de sécheresse ou de basses températures à la récolte sont importants. Ce principe est vrai pour des cultures aussi diverses que les mils et sorghos d'Afrique de l'Ouest, le riz de bas-fond en Asie du Sud-Est (Mackill, 1986) ou les haricots du Mexique (Acosta-Gallegos et White, 1995).

En Afrique de l'Ouest, ce phénomène du photopériodisme entraîne une grande plasticité phénotypique selon la date de semis qui se traduit par l'ajustement du cycle à la durée de la saison des pluies. En particulier, la floraison groupée à la fin de la saison des pluies minimise les dégâts d'oiseaux et de moisissures en cas de floraison trop précoce ou des stress hydriques en cas de floraison tardive (Cochemé et Franquin, 1967 ; Curtis, 1968 (a) ; Kassam et Andrews, 1975 ; Luce, 1994 ; Vaksman *et al.*, 1994).

Une étude agroclimatique de quelques sorghos locaux a analysé les mécanismes et proposé un modèle simple de prévision de la phénologie (Vaksman *et al.*, 1996). Dans l'étude présentée, la variabilité génétique de cette adaptation est évaluée sur une population de sorghos représentative de l'ensemble du Mali. Cette extension permet de relier la diversité des comportements phénologiques et la diversité des agro-écosystèmes. A terme, il s'agira d'utiliser ces savoirs paysans dans le cadre des programmes de sélection.

MATERIEL ET METHODE

Prospection

Une prospection des différents écotypes de sorghos a été réalisée sur un transect nord-sud du Mali, de Sokolo (latitude 14°44' nord) à Kadiolo (latitude 10°33' nord). Soixante neuf écotypes ont été recueillis auprès des paysans de 44 villages. Ils appartenaient essentiellement à la race guinée (58 variétés) (*Sorghum gambicum* et *Sorghum margaritifera* ou kéné en bambara) et dans une plus faible mesure aux races durra (*Sorghum durra* et *Sorghum membranaceum*) et caudatum (*Sorghum caudatum*).

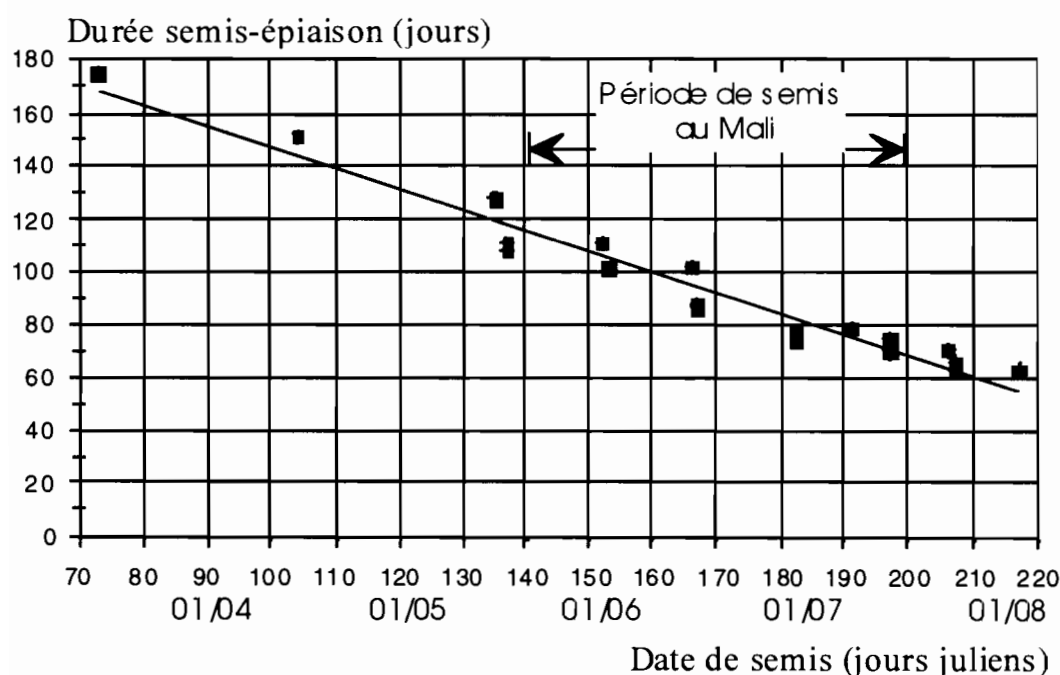
Caractérisation des variétés

Sur l'ensemble des lots la durée du cycle a été déterminée en fonction de la date de semis. Pour cela, un essai a été implanté à la station de recherche agronomique de Sotuba (latitude 12°39' nord, longitude 7°56' ouest) avec un dispositif en split-plot à deux répétitions. Les facteurs étudiés ont été : la date de semis (facteur principal) et la variété (facteur secondaire). Les dates de semis ont été le 13 juin et le 15 juillet 1996. Pour chaque parcelle et sur huit poquets a été suivie la date d'apparition de la ligule de la dernière feuille (feuille drapeau) par un passage tous les deux jours sur les parcelles.

Analyse de la réaction photopériodique

De mi-mai à fin-juillet, l'évolution de la durée du cycle végétatif d'un sorgho photopériodique en fonction de la date de semis est sensiblement linéaire et décroissante (Andrews, 1973). La sensibilité à la photopériode peut être mesurée par le changement des durée de croissance entre plusieurs dates de semis (Poonyarit *et al.*, 1989). La figure n°1 schématise cette évolution.

Figure 1 : Variation de la durée semis-épiaison d'un sorgho photopériodique (CSM388) à Bamako en fonction de la date de semis.



La pente (négative) de la droite correspondante détermine le coefficient de photopériodisme (K). Nous calculons ce coefficient en faisant le rapport de la différence des durées semis-feuille drapeau entre la première (SFD_1) et la deuxième (SFD_2) date de semis sur l'écart entre les deux dates de semis ($d_1 - d_2$).

$$K = \frac{SFD_1 - SFD_2}{|d_1 - d_2|}$$

Le coefficient K varie de 0 à 1 suivant les variétés. Pour les variétés insensibles à la durée du jour $K=0$ car la durée du cycle n'est pas influencée par la date de semis ($SFD_1 = SFD_2$). Pour les variétés très photosensibles ce coefficient est proche de 1 car le raccourcissement de la période végétative compense l'écart de semis en groupant la floraison à la même date.

Pour une variété testée à deux dates de semis, il est possible par extrapolation, de calculer la durée semis-feuille drapeau (SFD) pour une date de semis (D) par la relation :

$$SFD = -K \cdot D + (SFD_1 + KD_1)$$

Une correction doit être faite pour tenir compte de la latitude car le cycle des variétés photosensibles s'allonge lorsque l'on remonte au nord et que la durée du jour augmente.

Analyse du bilan hydrique

Les caractéristiques de l'année pluviométrique ont été déterminées par l'étude de l'évolution du remplissage de la réserve en eau utile du sol, simulé à l'aide d'un modèle simple de bilan hydrique (Forest, 1984). Dans le cadre de notre étude, nous avons adopté un pas de temps journalier et négligé les remontées capillaires et le ruissellement. La réserve au jour $j+1$ (R_{j+1}) est déduite de celle du jour précédant (R_j) par la formule :

$$R_{(j+1)} = R_j + P_{(j+1)} - Dr_{(j+1)} - ETR_{(j+1)}$$

où :

- $R_{(j+1)}$ est la réserve en eau au jour ($j+1$)
- R_j est la réserve au jour (j)
- $P_{(j+1)}$ est la pluviométrie au jour ($j+1$)
- $ETR_{(j+1)}$ est l'évapotranspiration réelle au jour ($j+1$).
- $Dr_{(j+1)}$ est le drainage au jour ($j+1$)

Le drainage n'intervient que lorsque le stock additionné de la pluie du jour excède la réserve utile (RU) arbitrairement fixée à une valeur moyenne de 100 mm. Dans ce cas, la valeur du drainage est :

$$Dr_{(j+1)} = P_{(j+1)} + R_{(j)} - RU$$

L'évapotranspiration réelle est calculée par la formule d'Eagelman (1971) qui prend en compte l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) calculée par la formule de PENMAN et le degré d'humectation du sol au jour considéré.

Caractérisation des sites climatiques

Dans la zone prospectée nous avons retenu les sites pour lesquels nous disposons d'une longue série de données de pluviométrie journalière (1961-1990). Au total, 9 sites principaux ont été retenus (figure n°2).

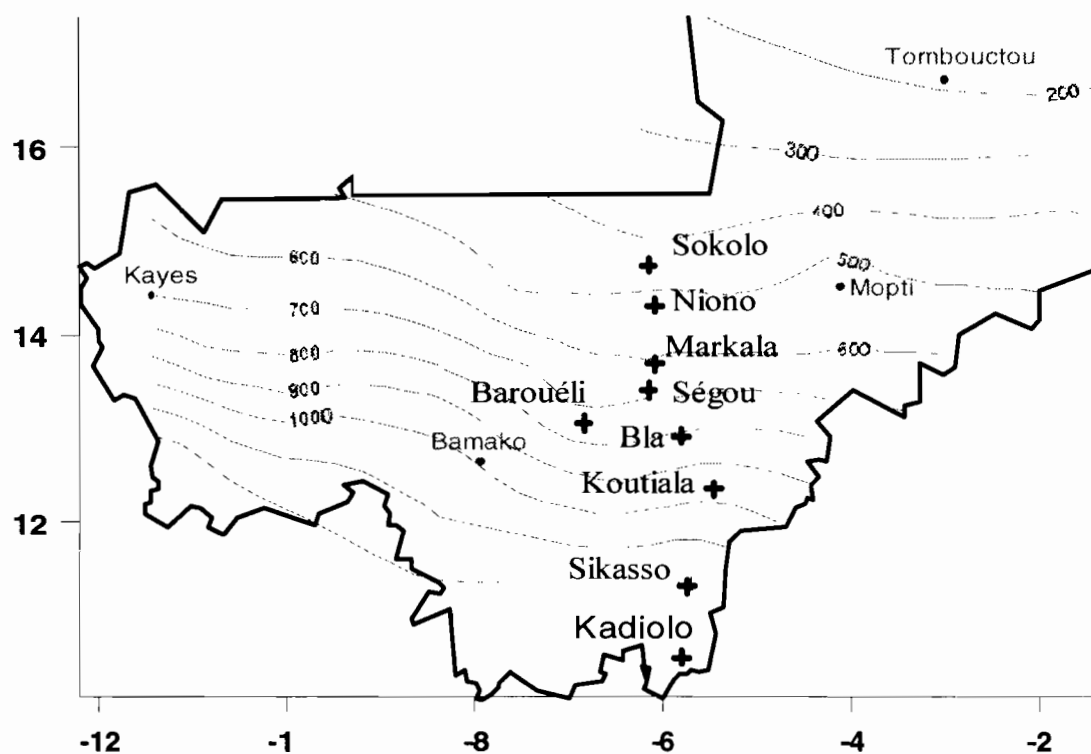
Par la suite le comportement d'une variété a été comparé aux caractéristiques du climat du site le plus proche. Nous nous sommes intéressés aux éléments suivants (Ouattara, 1996) :

- la date de début de la saison (DDS) : c'est le moment où, à partir du 1er mai, la réserve en eau du sol atteint 30 mm sans redescendre en dessous de 15 mm dans les 20 jours qui suivent. Cette date détermine généralement le début des semis dans les systèmes traditionnels.
- la date de fin de saison (DFS) : elle correspond au moment où la satisfaction des besoins en eau (ETR/ETP) descend définitivement en dessous de 90%. A partir de cette date les pluies ne compensent plus la demande évaporative.
- la durée de la saison culturale (D) : c'est le nombre de jours entre le début et la fin de saison (DFS-DDS).

Enquêtes dates de semis

De 1988 à 1991, une enquête sur les pratiques paysannes du Mali a été réalisée (ESPACE). Des observateurs ont été chargés de suivre précisément 30 à 50 champs dans les différentes zones agroclimatiques du pays. Pour chaque champ, on a noté les dates de semis et de resemis, la phénologie de la culture et les dates de réalisation des opérations culturales (sarclages, récolte, etc.). Dans ce travail, nous nous sommes intéressés aux semis.

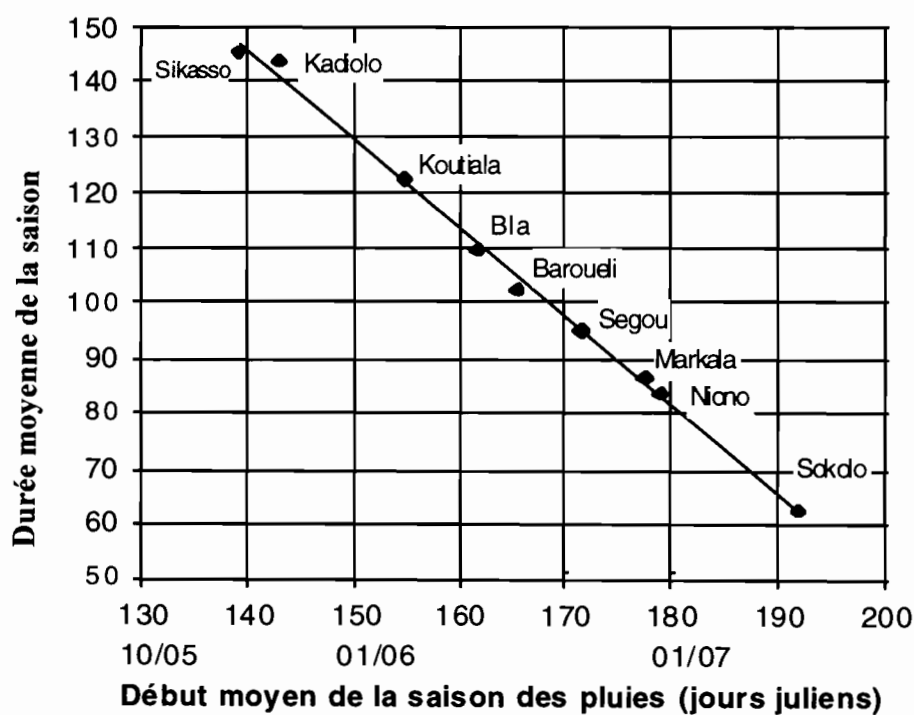
Figure 2 : Localisation des principaux sites du Mali où les variétés ont été collectées et isohyètes : moyenne annuelle (1950-1990).



RESULTATS ET DISCUSSION

Variabilité spatiale du climat et adaptation des variétés

Figure 3 : Relation entre la date moyenne de début de la saison des pluies (DDS) et la durée moyenne de la saison des pluies (ID).



La figure n°3 illustre le gradient climatique nord-sud dans le transect prospecté. Chaque site est caractérisé par la date moyenne de début et la durée moyenne de saison des pluies (période 1961-1990).

Il ressort que les dates moyennes de début ainsi que les durées des pluies varient avec la latitude. On passe progressivement de Sokolo (durée 63 jours pour un début le 10 juillet) à Kadiolo (durée 144 jours pour un début le 23 mai). L'existence d'une relation étroite entre ces deux valeurs est propre aux climats de la région (Tékété et Sivakumar, 1990). La variation de la durée de la saison s'accompagne d'une variation similaire de la date de fin de saison qui passe du 10 septembre à Sokolo au 15 octobre à Kadiolo et de la pluviométrie moyenne qui passe de 400 à plus de 1 000 mm (tableau n°1).

Tableau n°1 - Caractéristiques climatiques des principaux sites de la zone prospectée.

SITE	Latitude	Date de début de saison	Date de fin de saison	Durée (jours)	Pluviométrie (mm)
SOKOLO	14°44'	10/07	11/09	63	440
NIONO	14°15'	27/06	19/09	84	542
MARKALA	13°41'	26/06	21/09	87	576
SEGOU	13°24'	20/06	23/09	95	648
BAROUELI	13°04'	14/06	24/09	103	734
BLA	12°57'	10/06	28/09	110	675
KOUTIALA	12°24'	03/06	04/10	122	911
SIKASSO	11°21'	19/05	11/10	146	1110
KADIOLO	10°33'	23/05	14/10	144	1024

La figure n°4 compare la durée semis-épiaison (EPI) des variétés prospectées en fonction de la durée moyenne de la saison des pluies (D) de leur zone d'origine. Le calcul de la durée semis-épiaison a été fait en considérant que le semis a lieu en début de saison (DDS) et en tenant compte de la sensibilité à la photopériode propre à chaque variété. Pour la majorité des cultivars on obtient la relation suivante :

$$EPI = 0,99.D - 17 \quad R^2 = 0,92$$

Nous voyons qu'en général, l'épiaison d'une variété a lieu 17 jours avant la fin moyenne des pluies de sa zone d'origine. La période sèche correspond au début de la maturation des grains qui se fait essentiellement avec l'eau stockée dans le sol et avec les dernières petites pluies. Comme nous le verrons plus tard, on note aussi l'existence de variétés plus tardives en zones de bas-fond ou plus précoces destinées à la soudure.

Variabilité interannuelle des dates de semis

Variabilité interannuelle du climat

La figure n°5 donne la relation entre les dates de début et la durée de la saison des pluies à Ségou sur une période de trente ans (1960-1990). La relation est hautement significative : un début précoce des pluies (par rapport à la moyenne) implique une durée de saison plus longue. Réciproquement, si le début est tardif, la saison sera plus courte.

Ce comportement caractéristique du climat soudano-sahélien (Sivakumar, 1988) découle de l'indépendance des dates de début et de fin de saison (Vaksmann *et al.*, 1996) et du fait que l'incertitude sur la date d'arrivée des pluies est plus grande que celle sur la date de fin des pluies (Sivakumar, 1990).

Étalement des semis

En milieu paysan africain la date de semis n'est pas fixe. Chaque année, les semis commencent à peu près dès l'installation des pluies et s'évalent fortement dans le temps. Le tableau n°2 illustre cet étalement des semis dans le cas des enquêtes menées à Sikasso. En général, le semis débute 10 jours après l'installation des pluies et se poursuit sur 35 à 45 jours.

Figure 4 : Durée semis-épiaison (EPI) des sorghos prospectés en fonction de la durée moyenne de la saison des pluies de leur zone d'origine (D).

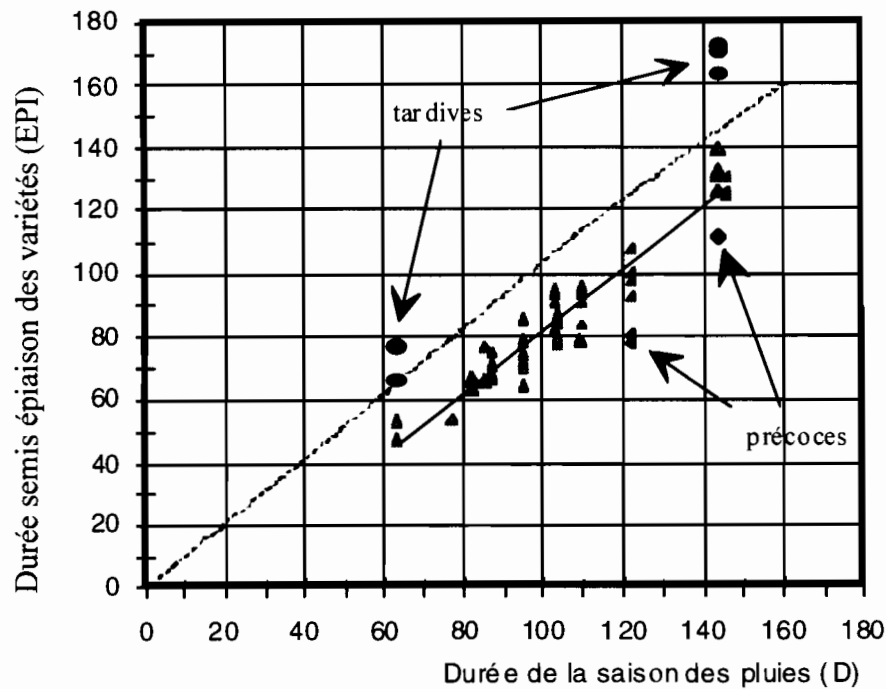
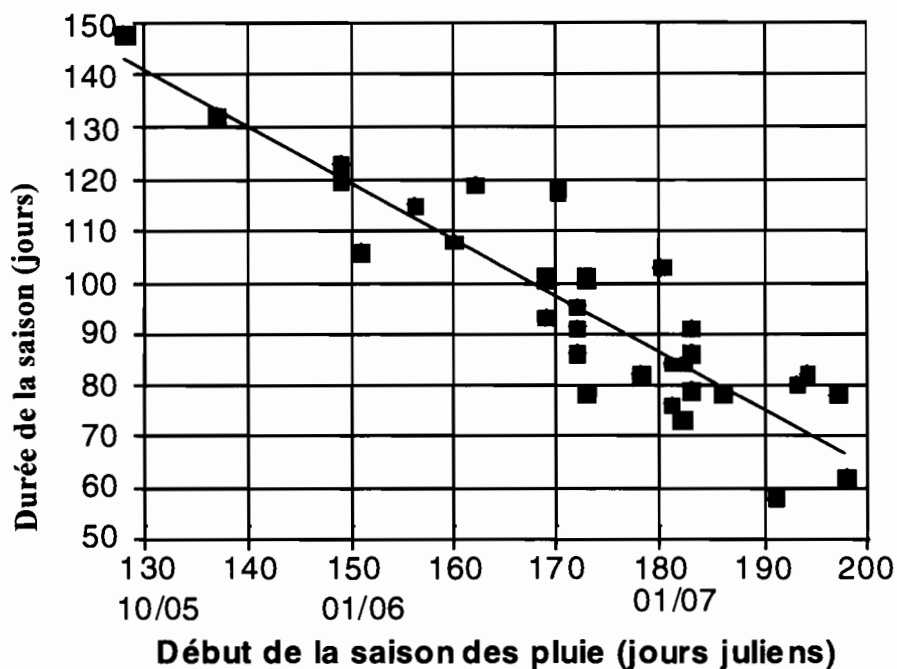


Figure 5 : Relation entre la date de début de la saison des pluies et la durée de la saison des pluies à Ségou sur la période (1960-1990). Chaque point correspond à une année.



Les raisons de l'étalement des semis sont multiples. Notons principalement :

- l'installation erratique des pluies qui provoque une vague de semis après chaque pluie ;
- l'ordre d'implantation des spéculations (coton, maïs, mils et sorghos etc.) ;
- le manque de matériels agricoles ;
- les coutumes : les fêtes de début d'hivernage, les mariages, etc.

Tableau 2 : Dates de semis observées sur 40 champs paysans de 1988 à 1991 à Sikasso. Comparaison avec la date de début de la saison (DDS).

Année	Début des semis		Fin des semis		Semis moyen		Ecart type (jours)	Début de la saison (DDS)	
1988	159	08/06	196	15/07	173	22/06	12	147	27/05
1989	161	10/06	205	24/07	181	30/06	10	151	31/05
1990	155	04/06	193	12/07	178	27/06	10	137	17/05
1991	145	25/05	191	10/07	166	15/06	12	139	19/05

Ainsi, la durée de la période de culture et donc le potentiel de la saison résultent à la fois de la date d'installation de l'hivernage et de l'étalement naturel des semis dû aux systèmes des cultures. L'incertitude sur les dates de semis constitue une condition essentielle de la production en milieu rural africain. Les variétés photopériodiques s'adaptent bien à cette incertitude car elles permettent de réguler la durée du cycle.

Le diagramme de la figure n°6 représente les dates d'épiaison des variétés collectées selon les dates de semis. Les écotypes photopériodiques sont caractérisés par des bâtonnets de faible amplitude car la floraison est groupée. En revanche, pour une variété insensible à la photopériode, la taille du bâtonnet est équivalente à l'écart entre les deux semis soit 30 jours. Pour l'ensemble des variétés prospectées, le coefficient moyen de photopériodisme que nous avons obtenu est $k = 0,7$. Cela signifie qu'en moyenne un retard de semis de 10 jours entraîne une réduction de 7 jours de la durée de la phase végétative.

D'une manière générale, plus les variétés sont tardives, plus elles sont photosensibles. Le coefficient k est très lié à la durée du cycle ; il évolue de 0,4 pour les variétés précoces à 1 pour les tardives. Sur 69 variétés collectées, un seul cultivar non photopériodique a été identifié au nord du pays. Il est possible de grouper les variétés par dates d'épiaison et de déterminer le climat auquel elles sont le mieux adaptées. Par exemple, les variétés épiaient entre le 10 et le 20 septembre correspondent au climat de Koutiala où la saison prend fin en moyenne le 4 octobre.

Autres sources de variabilité

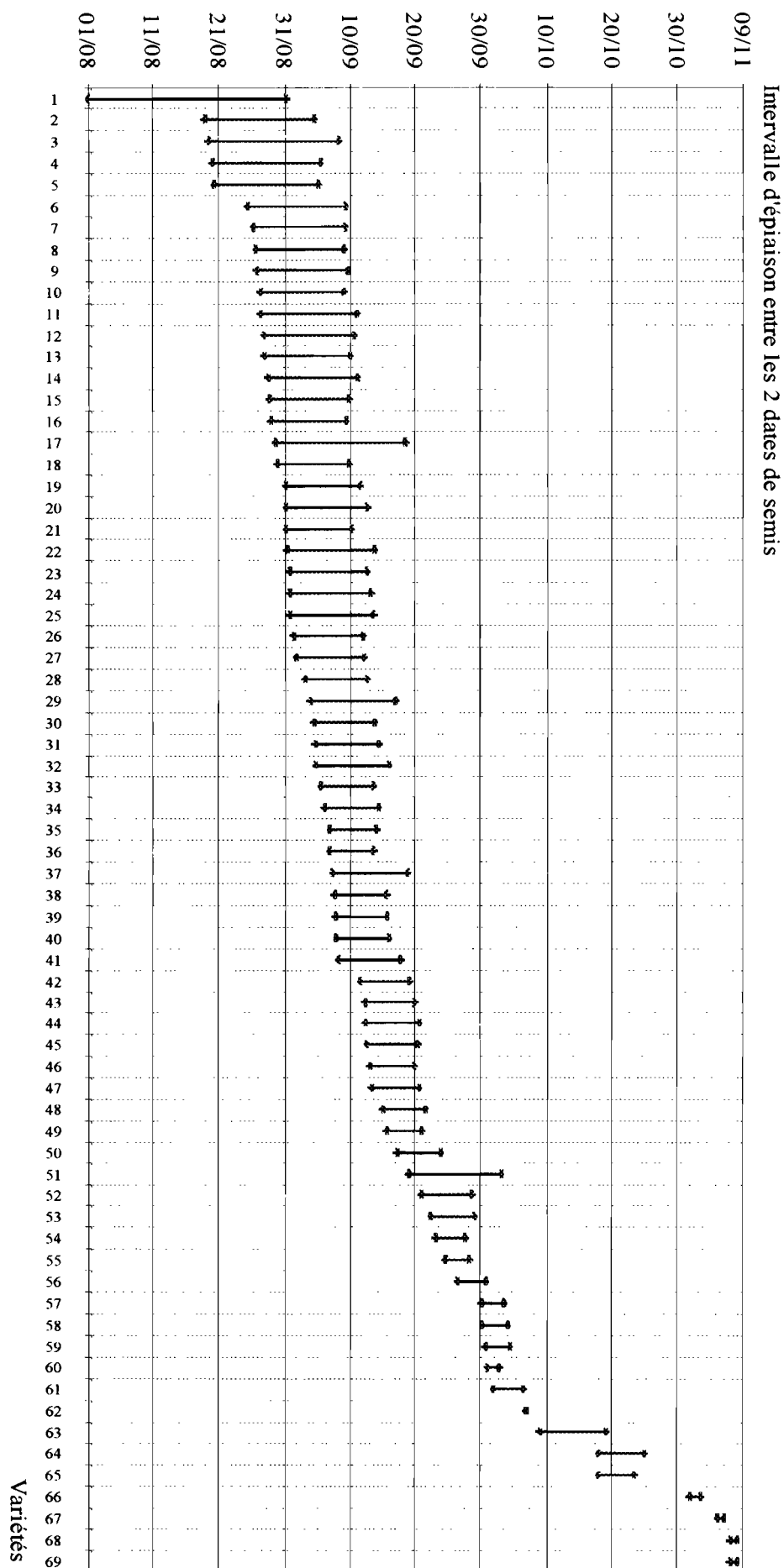
Les paysages légèrement ondulés, fréquents au Mali, sont typiques des régions soudano-sahéliennes. On peut distinguer dans ces paysages un ensemble de types de terroirs et de sols étroitement associés à des topographies précises que l'on appelle des « toposéquences ». Ainsi, on trouve sur les plateaux des sols peu fertiles, sensibles à la sécheresse tandis que les sols des versants et des bas-fonds sont plus fertiles et souvent très humides (Van Staveren et Stoop, 1986). Les paysans adaptent leurs différents cultivars aux caractéristiques de leurs sols afin de minimiser les risques d'échec. La plupart des sorghos sont cultivés sur les versants, en sols profonds à bonne réserve en eau.

Dans les zones de bas de pente, on sème généralement des variétés plus tardives que sur les plateaux (IRAT, 1971). Ainsi il est fréquent de rencontrer des variétés exceptionnellement tardives dans les bas-fonds, aussi bien en zone sahélienne qu'en zone nord guinéenne (figure n°4). C'est aussi le cas des sorghos de décrue cultivés en bordure du Sahara. La prise en compte et l'utilisation de cette variation de l'humidité des sols dans les toposéquences sont des éléments clés de la stratégie de production des paysans car elle est un facteur important de la stabilité des rendements sur les exploitations traditionnelles.

Diversité des objectifs des paysans

Les objectifs des agriculteurs sont variés et entraînent une diversité d'utilisation des cultivars. Les paysans peuvent rechercher la précocité pour éviter la disette (soudure), produire de la bière ou s'adapter au marché. Ils peuvent chercher à étaler leur production pour minimiser les risques climatiques ou tenir compte de contraintes de récolte. Les agriculteurs disposent de variétés dont les caractéristiques de cycle et de qualité des grains répondent à leurs différents besoins.

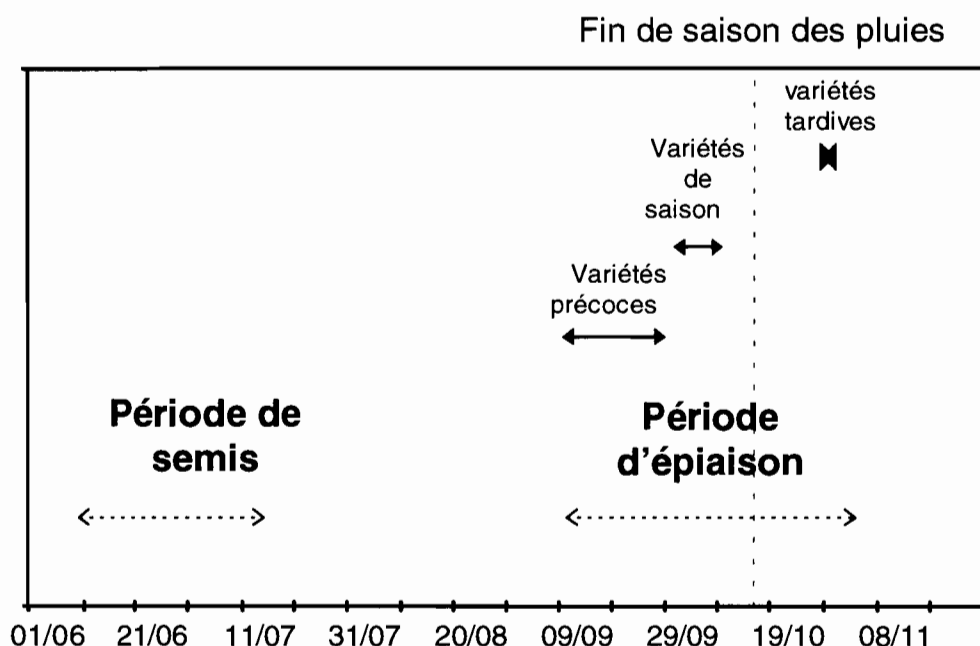
Figure 6 : Dates d'épiaisons des variétés collectées, pour les semis du 13 juin et du 15 juillet, près de Bamako.



Les variétés précoces sont destinées à faire face au déficit alimentaire précédant la récolte. Elles sont amenées à mûrir dans une ambiance humide où la pression des oiseaux est importante. Elles développent fréquemment des mécanismes de protection comme la présence de tanins qui donnent au grain une couleur rouge, protection efficace contre la moisissure et les attaques d'oiseaux. Les préférences culinaires expliquent aussi une partie de la diversité des cultivars. On rencontre des variétés spécifiquement destinées à la préparation du tô (pâte de sorgho), du couscous, de la bouillie, de la bière (sorghos rouges) ou comme substitut du riz (Kendés) par leur caractère du grain très vitreux.

La figure n°7 schématise les différents types de cycles variétaux rencontrés sur un terroir. La date moyenne de fin de la saison des pluies est représentée par un trait vertical discontinu. L'étalement moyen des semis est représenté par un trait horizontal discontinu. L'étalement de l'épiaison des trois principaux types de sorghos est représenté par un trait horizontal continu. On observe des variétés précoces qui épient environ de 30 à 40 jours avant la fin des pluies, des variétés de saison qui épient de 10 à 20 jours avant la fin des pluies et des variétés tardives qui peuvent épier un mois après la fin des pluies. Les variétés de saison représentent la majorité des surfaces emblavées et constituent l'essentiel de la production et des stocks.

Figure 7 : Stratégies de choix variétal en fonction des objectifs de production et des contraintes climatiques. Exemple de Sikasso. La période de semis s'étale sur 45 jours (trait horizontal pointillé), la fin moyenne de la saison des pluies est marquée par un trait pointillé vertical. La floraison des variétés de sorgho est plus regroupée que leur semis (20 jours pour les précoces, moins de 10 jours pour les variétés de saison et tardives).



CONCLUSION

En Afrique soudano-sahélienne, l'activité agricole s'exerce dans des conditions extrêmement complexes et variées. Pour tenir compte du gradient climatique, de la variabilité interannuelle de la saison des pluies, de l'étalement des semis et de la position sur la toposéquence, les sorghos du Mali utilisent les caractères « précocité » et « sensibilité à la photopériode ». L'intégration récente de ce caractère dans les programmes d'amélioration des plantes explique certainement la faible diffusion des variétés « améliorées » à ce jour dans le milieu rural africain. Le maintien de la diversité des sorghos résulte aussi des objectifs des paysans qui, suivant les cas, recherchent la précocité pour éviter la disette (soudure) ou des productions plus tardives pour éviter les oiseaux et les moisissures. L'étude du comportement des variétés montre qu'à côté des variétés en phase avec la fin de saison des pluies il en est d'autres, plus précoces et plus tardives, également photopériodiques mais différemment calées.

Elles témoignent d'une stratégie paysanne de gestion des cultivars tenant compte des risques. La réaction des paysans africains face à l'introduction de nouvelles variétés est un mélange de curiosité et de scepticisme. Ils sont souvent volontaires pour participer à des tests mais tiennent leurs propres variétés en très haute estime et pensent qu'il y a peu de chances qu'on puisse les détrôner. Les nouveaux cultivars seront mis en compétition avec les variétés locales dans des conditions difficiles, et, dans tous les cas, la supériorité des nouvelles introductions devra être nettement visibles (Viguié, 1947).

En terme de phénologie, l'adéquation d'une variété à une écologie demande une grande précision. Une floraison mal ciblée, trop précoce ou trop tardive de 10 jours suffit à faire échouer la culture (Curtis, 1968 b). Les programmes de vulgarisation agricoles se heurtent à une méconnaissance des cultivars (notamment de leur réaction à la photopériode) associée à une ignorance des conditions dans lesquelles les variétés seront cultivées. Ce constat fait ressortir la nécessité (i) d'une collecte la plus large possible de l'information sur le milieu, les variétés et les stratégies paysannes, (ii) de caractériser systématiquement le comportement des variétés en cours de sélection pour leur réponse à la photopériode (iii) de pouvoir tester précocement le comportement du matériel en cours de création dans les conditions de culture du milieu paysan afin d'identifier les contraintes et d'assurer un retour rapide de l'information vers les chercheurs concernés.

Travaux réalisés grâce au contrat n°TS3 CT 93-0223 de l'Union Européenne

BIBLIOGRAPHIE

- Acosta-Gallegos, J. A., White, J. W., 1995, Phenological plasticity as an adaptation by common bean to rainfed environments. *Crop Science*, vol.35, n°1, 199-204.
- Andrews, D. J., 1973, Effects of date of sowing on photosensitive Nigerian Sorghums. *Expl., Agric.* 9:337.
- Cerighelli, R., 1955. Cultures tropicales (plantes vivrières). Dans nouvelle encyclopédie agricole, 635 pages.
- Cochemé, J. Franquin P., 1967, A study of the agroclimatology of the semiarid area south of the Sahara in West Africa. FAO/UNESCO, 325 p.
- Curtis, D.L., 1968 (a), The relation between the date of heading of Nigeria sorghum and the duration of the growing season. *J. Appl. Ecol.*, 5, 215-226.
- Curtis, D.L., 1968 (b), The relation between yield and date of heading in Nigerian sorghums. *Expl. Agric.* 4.
- Da Sansan, 1994, Valorisation des guineas dans un programme de création variétale pour la zone Nord-Guinéenne. Atelier de formation sur les variétés locales de sorgho., 10-14 octobre 1994, ICRISAT, Mali, 113-119.
- Eagleman, J R., 1971. An experimentally derived model for actual evapotranspiration. *Agricultural meteorology* 8, 385-394.
- Forest, F., 1984. Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales. Présentation et utilisation du logiciel BIP. IRAT-CIRAD, 62 p.
- IRAT, 1971, Les variétés de sorgho vulgarisables en Haute-Volta. *C. Agr. pays Chauds*, 2 : 69-96.
- Kassam, A.H., Andrews D. J., 1975, Effects of sowing date on growth, development and yield of photosensitive sorghum at Samaru, Northern Nigeria. *Expl., Agric.* 11, 227-240.
- Luce, C., 1994, Influence des conditions de production des semences de sorgho sur la levée au champ. *Agriculture et développement*, 1 : 43-46.
- Mackill, D. J., 1986, Varietal improvement for rainfed lowland rice in South and Southeast Asia : Results of a survey. p115-144. In *Progress in rainfed lowland rice*. Int. Rice Res. Inst. Manila, Philippines.
- Matlon, P.J., 1985, Analyse critique des objectifs, méthodes et progrès accomplis à ce jour dans l'amélioration du sorgho et du mil : une étude de cas de l'ICRISAT/Burkina Faso. pp 181-211., in *Technologies appropriées pour les paysans des zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest*. Université de Purdue.

- Ouattara, M., 1996, Savoirs paysans et prise en compte des risques climatiques dans la production du sorgho. Cas des paysans de la zone de Loulouni. Mémoire de DEA, ISFRA, Mali, 32pp.
- Pichot, J., 1993. Analyse des pratiques paysannes. Dans Analyse de la diversité des situations agricoles. Actes de l'atelier d'échanges et de formation du 22-28 octobre à Garoua au Cameroun, p 87-91.
- Poonyarit, M., Mackill D. J., Vergara, B. S., 1989, Genetics of Photoperiod Sensitivity and Critical Daylength in Rice. Crop Sci., 29 : 647-652.
- Sivakumar, M.V.K., 1988, Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian Climatic Zones of West Africa. Agricultural and Forest Meteorology, 42, 295-305.
- Sivakumar, M.V.K., 1990, Exploiting rainy season potential from the onset of rains in the Sahelian zone of West Africa. Agricultural and Forest Meteorology, 51, 321-332.
- Stoop, W. A., Pattanayak, C. M., Matlon, P. J., Root, W. R., 1981, A strategy to raise the productivity of subsistence farming systems in the west African semi-arid tropics. Pages 519-526 in Proceedings, sorghum in the Eighties ICRISAT 2-7 November 1981, Patancheru 502 324, A.P., India.
- Tekete, A., Sivakumar, M.V.K., 1990. Analyse de la longueur de la saison culturale en fonction de la date de début des pluies au Mali. ICRISAT, centre sahélien de Niamey.
- Vaksmann, M., Traore S.B., 1994, Adéquation entre risque climatique et choix variétal du mil. In Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. F.N. Reyniers et L. Netoyo, Ed. Scientifique., Ed. John Libbey Eurotext. Paris, p113-123.
- Vaksmann, M., Traore S., Niangado O., 1996, Le photopériodisme des sorghos africains. Agriculture et Développement, n°9, 13-18
- Van Staveren, J. Ph., Stoop, W. A., 1986, Adaptation aux types de terroirs des toposéquences de l'Afrique de l'Ouest de différents génotypes de sorgho, de mil et de maïs. L'agronomie tropicale, 41, n°3-4, 203-217.
- Viguier, P., 1947, Les sorghos et leur culture au Soudan Français. Grande Imprimerie Africaine, Dakar, 80pp.

GENDER DIFFERENTIATED MANAGEMENT OF LOCAL CROP GENETIC RESOURCES IN BAFOULABE CERCLE, KAYES REGION OF MALI - A CASE STUDY

Synnevag G.

The Norwegian Crop Research Institute, Norway

INTRODUCTION

The last years it has been recognised that long term food security depends on sustainable management of agriculture and natural resources, including plant genetic resources. The importance of farmers' indigenous knowledge systems, including seeds and associated practices, in the search for alternative approaches to sustainable agriculture, are well documented (Fernandez P.G., 1994; Berg T. *et al*, 1991). In the Sahel, indigenous agricultural systems emphasize strategies that promote production stability and risk minimisation, in a highly variable and often marginal environment, aiming at securing households' access to food. According to studies in many parts of the world, crop genetic diversity appears to be one of several strategies to create stable subsistence by farmers (Brush S.B., 1986). Displacement of indigenous landraces by improved varieties and changes in crop pattern and land use have, however, affected the magnitude of the diversity in the indigenous crops. Support to on farm management and improvement of locally adapted germplasm, based on farmers' indigenous knowledge and practices, might be a sustainable alternative to increase the productivity and to maintain the crop genetic diversity in subsistence production systems

A number of social factors contribute to the differentiation in individual local knowledge. A study carried out in South Western Mali (Bingen R.J. *et al.*, 1994), showed that of these social factors, which included kinship, age, ethnicity, religious affiliation and wealth, gender was one of the most influential. In the Bambara-Malinké culture, as throughout much of sub Saharan Africa, the organisation of household and agricultural activities take place along gender lines. Men and women do different things, have access to different resources and benefits. The process of individual knowledge differentiation is visible throughout all aspects of the household production systems, where the cultivation of specific food and cash crops, the collection of wild fruits and leaves and activities such as the processing, preparation and preservation of food are assigned to different age and gender groups. Women play a key role in ensuring the survival of the family, and have acquired tremendous knowledge about multiple cropping systems, indigenous crop varieties, nutrition attributes of various, among which under exploited plants and maintenance of scarce resources. They are conservators and users of plant genetic diversity (Jiggins J., 1994; Badri A., 1994; Tsegaye B., 1992), depending on the diversity in coping with periods of shortage and hunger. Support to on farm management of crop genetic resources must therefore be based on both female and male indigenous knowledge systems.

THE CASE STUDY

Objectives and methodology

To examine the local diversity in the main agricultural crops and farmers' indigenous knowledge concerning use and maintenance of the local crop genetic resources, a study was undertaken in 1993, in Bafoulabé cercle in the Kayes region of Mali. The study was conducted in 46 villages, in three different arrondissements: Bafoulabé, Oualia and Oussoumbidiagna. A close collaboration between the research project and a NGO, dealing with rural development in the area, was established, facilitating the project implementation by making use of the NGO's experience and network in the villages.

The major objectives were to:

- i) identify the magnitude of the diversity in the main agricultural and horticultural crops grown in the rainy season;
- ii) identify gender differentiation of local knowledge concerning utilisation and maintenance of local crop genetic resources;

iii) recommend gender sensitive, sustainable project interventions to maintain the diversity and improve the productivity of the local production systems.

The methodology used were interviews with farmer groups and individuals, differentiated by sex and age, and visits in farmers' fields. The diversity and the characteristics of the local varieties in the different crops, land and crop management practices, seed selection and conservation procedures, exchange of information and seeds and experience from modern varieties and their adoption rate were described by the farmers. Questions concerning changes in use of local varieties the last years and abandoned varieties were usually put to elders in the village who normally were able to add valuable information.

In analysing the information, material which was named and described in a similar way within and between villages were considered as a local variety. In some crops, especially in sorghum where the diversity was biggest and the vernacular names were not consistent, the same local variety could have different names. A careful questionnairing, translation and analysis of the descriptions was necessary to identify local varieties differing from each other in one or more characteristics. The time did not, however, allow an in depth study to avoid counting duplicates. The average growth cycle was calculated for each of the local varieties based on the data given by the different farmers. The farmers stipulated the days from seeding to harvest with remarkable precision and accordance.

Description of the study area

The Sahelian and the Sudanian vegetation zones meet in Kayes region. Annual precipitation varies between 600-900 mm. According to Ministère du Développement Rural, 70,3% of the population in Bafoulabé cercle are Malinkés and Khassonkhés, 14,8% are Peuls and 7,4% Bambaras. Local communities are dominated of a non commercialised economy. One of the main livelihood constraints is food insecurity. Also in years with «normal» harvests there is a severe lack of food in August and September, the hunger gap period. The main reasons are decreased and unstable precipitation, bad infrastructure, lack of markets, lack of income generating activities, low investment possibilities in agriculture and poverty.

Land use and farming system

The population density in the area is relatively low, and production is increased through expanding the area under shifting cultivation (Kjelstad M.A., 1990). Sorghum, groundnuts and maize are the main traditional staples. Groundnuts constitute the main cash crop, but the income from these sales seems to be low. Maize is planted on fertile compound fields and provides a reliable source of early food in the last part of the hunger gap period. Simple rotations of 2 years between sorghum and groundnuts are practised along with mixed cropping of sorghum and cowpeas.

Household organisation and land management in the household

Characteristics of the social organisation in the study area were the patriarchal family structure and the gender division of land and labour. Each household member had a specific responsibility for cultivation. Generally men and women in the household had separate responsibilities for individually and collectively managed fields:

Fuuruba fuuto - male collectively cultivated family field (sorghum-cowpeas);

Salome fuuto - male individually managed field (groundnuts, sorghum);

Sansa hé - male collectively cultivated maize field (fenced and manured);

Kaba hé - male collectively cultivated maize field (in the bush);

Muso hé - female individually managed field (groundnuts, fonio, vandzou or sorghum);

Suxo - female individually cultivated maize field near the huts (early maize, early sorghum, cowpeas, and vegetables);

Faro - female individually or collectively cultivated rice field.

If land was available, each woman had her own lot of a *suxo*, *faro* and *musu* field. The immediate surroundings of a village were entirely devoted to the *suxos*. The garbage of the household was thrown on the *suxos*, allowing continuous cropping. The *suxos* were characterised by having a number of crop types, and multiple cropping was practised. It seemed to be a high degree female autonomy in management, cultivation and harvest disposal of their individually managed fields.

Local genetic diversity and gender differentiated knowledge and management of crop genetic resources

Men had the main responsibility for cultivating the main staple crops, sorghum and maize, and their knowledge of traditional cropping patterns and local varieties were mainly restricted to these crops. Women cultivated a larger number of species on their individual plots, normally 10-21 different species were identified, and their knowledge concerned this broad range of crops.

In general women classified groundnuts as the most important crop, followed by maize, sorghum, cowpea, rice, fonio and okra. In addition, vandzoe, eggplant, sesame, water melon, cotton, marrow, tomato, sisal, peppers, cassava, sweet potato, dah and onions were cultivated in the rainy season to varying extent. Fonio, rice, vandzoe and different kinds of vegetables were traditionally grown exclusively by women, and only women could describe the local varieties in detail. The women practised multiple cropping to a greater extent than men, and several mixed cropping systems were identified. Men inter cropped sorghum and cowpeas, but had little knowledge about other inter cropping systems. Table 1 shows the total number of local and improved varieties in the different crops cultivated by male and female farmers.

Table 1: Total number of local and improved varieties of different crop species cultivated by male and female farmers found in a survey in Bafoulabé cercle, (Synnevåg G. and S. Diallo, 1993).

Species	Number of local varieties			Number of improved varieties		
	Total	Men	Women	Total	Men	Women
Sorghum	43	38	10 (5 varieties grown exclusively by women)	3	3	0
Maize	22	22	9	3	3	0
Groundnut	5	?	5	2	2	2
Rice	30	0	30	4	3	1
Cowpea	6	2	6	1	1	1
Fonio	13	0	13	0	0	0
Okra	15	0	15	2	0	2
Vandzoe	5	?	5	0	0	0
Marrow	8	0	8	0	0	0
Water-melon	4	0	4	0	0	0
Egg-plant	6	0	6	0	0	0

Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench)

43 local varieties of sorghum were identified and described by the farmers. The local varieties showed a great variation with regard to growth cycle (days from seeding to harvest), grain yield, plant height, size of panicle and grains, grain colour, drought tolerance, resistance to diseases, pests and birds, threshing ease, preparation characteristics and sensory attributes of the end use products. Earliness to maturity was a highly valued characteristic which provided a much required flexibility in the cropping season. Normally farmers classified the varieties in four groups: *Jansa tarinno* (early sorghum, Guinea type), *Jansa ba* (late sorghum, Guinea type), *Gajaba tarinno* (early sorghum, Durra type) and *Gajaba* (late sorghum, Durra type). 86% of the varieties belonged to the Guinea group, 14% to the Durra group. Due to lower rainfall and shorter cropping seasons over the last years, farmers had abandoned the cultivation of Durra sorghum varieties in favour of the Guinea types, some early maturing Durra types were, however, still cultivated. Farmers also explained that they had left late maturing Guinea types (> 120 days) preferring earlier maturing types. The biggest change took place after the drought in 1984. This change to shorter cycled local sorghum varieties is well documented in the Sahel (Vierich H.I.D. and W. A. Stoop, 1990).

The growth cycle of the varieties identified varied between 90 days to 210 days. The distribution of local sorghum varieties with regard to their growth cycle showed that 18% of the actual cultivated varieties was early (90-100 days), 47% medium early and 35% late (> 120 days). Male farmers were the main sorghum cultivators, and possessed most knowledge about local varieties, cultivated on the

fuuruba or *salome* fields. Women possessed knowledge about sorghum varieties grown on their individual *muso* fields, and especially about early sorghum varieties grown on their *suxo* fields.

The number of local varieties maintained and used varied between farmers, villages and arrondissements. The biggest diversity was found in Oussoumbidiagna where half of the local varieties were identified, and the smallest in Oualia where late varieties were rarely found. In Oussoumbidiagna each farmer could maintain between 4-15 different local varieties. One male farmer described 15 varieties in detail, each one differing from the other. Local names were consistent within arrondissement, but differed to some extent between them. In Oualia and Bafoulabé, local names referred mainly to morphological traits, ex. grain colour and size. *Jansa tarinxoyo* and *wulemanno* (early white and red sorghum) were commonly grown. In Oussoumbidiagna, local varieties named after the first person who brought the variety into the village or the village of origin, were common. Commonly used early varieties were *Surubugu*, *Gaymamadu*, *Tombatinto* and *Bambafilo*. It seemed that once given a name, the name followed the variety when exchanged amongst farmers. Within arrondissement, farmers' descriptions of varieties within and between villages were in remarkable accordance with each other.

Five local sorghum varieties were grown exclusively by women (*Kinto* early, late, white, red and black), and often in the *suxo* area. *Kinti tarinno* (early *Kinto*) was the most common variety. These varieties were described as non productive, with small grains, short plant height, good preparation and cooking qualities, and with an extremely good taste. In the case where men and female sorghum farmers cultivated the same varieties, women could in most cases add valuable information on preparation and sensory characteristics.

Most of the local varieties were described as old, cultivated more than 100 years in the villages (« Plus vieille que les vieux »), and the farmers had received seeds from their parents. In addition, an exchange of material within and between villages had taken place specially the last 20 years and specially concerning early varieties. Seed exchange was practised when facing seed shortage and to get better yielding varieties. Borrowing seeds from relatives and neighbours was the most common strategies to overcome seed shortage.

Simple mass selection was practised in the field prior to harvest. Both men and women did the selection in their respective fields. When farmers selected within field they normally assessed plant vigour relative to surrounding plants. Good heading panicles with fully matured grains and those free of damage by pest or diseases were selected for seed. In one case farmers explained that certain morphological traits were associated with high yield, practising indirect selection for yield. The sorghum for seed was kept as panicles and not threshed until some days before planting. A new screening according to panicle and seed characteristics was then performed.

Maize (*Zea mais* L.)

22 different local maize varieties were identified, and described by the farmers. The varieties differed in growth cycle, plant height, drought tolerance, adaption to environmental microniches, size and form of the cobs, colour and size of the grains, taste and utilisation.

The growth cycle varied between 59 and 150 days. The most commonly used groups of local varieties were *Koroto ba* (short maize) 70 days from seeding to harvest, *Kortamba*, 75 days with longer cobs, early and late white maize (*Saata*) and early and late red maize (*Makka wulenno*). The earliest variety *Koroto tarinno* (*Biribiri*), 59 days, was found just in two villages. The distribution of the local varieties with regard to growth cycle showed that 37% of the varieties were classified as extra early (< 82 days), 16% as early (83-95 days) and 47% as intermediate or late (96-120 days).

Male farmers were the main maize cultivators, growing maize on their *sansa* and *kaba fuutos*, and the main holders of information concerning diversity within the crop. The harvest was dried and stored for consumption in the dry season. Women cultivated maize on their *suxo* fields. The female cultivated maize was mainly short cycled varieties that might be harvested in August-September and consumed at the end of the rainy season, in the hunger gap period where the need for food was urgent. On the *suxo* fields maize was normally cultivated in association with okra.

Selection of maize was done during harvest. Both men and women carried out selection of seeds. Good looking cobs, with full rows of grain, free of pest and diseases were selected for seed. The cobs

were tied together and kept hanging outside in a tree, or inside in the hut to keep the seed dry and well aired and to prevent damage by weevils and rodents.

Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp)

Six local cowpea varieties were identified and described by the farmers. The varieties differed with regard to growth habit, growth cycle (75-129 days), grain yield, drought tolerance, grain size, colour (white, red, black and spotted), cooking time, taste and use (leaves, pods and seeds). Four of the varieties were spreading, short day types with different growth cycles, traditionally inter planted with sorghum. One upright, short cycled and black grained variety was found, probably day neutral. Some of the varieties were cultivated for their leaves and grains, some only for grains. *Soso ba* (big grained and late, 120 days) and *Mabifé* (small grained and early, 90 days) were the most commonly used local varieties.

Both men and women grew cowpeas in their fields, normally intercropped with sorghum. In general, women expressed more knowledge about the local cowpea varieties than men, normally keeping 2-4 different varieties with different growth cycles. After harvest women were keeping the pods in the kitchen hut for treatment with smoke, before storing the seeds in bottles or sacs for the next season.

Vandzou, Bambara groundnut (*Voandzeia subterranea* L.)

Vandzoe was a traditional female crop, and is sometimes inter cropped with groundnuts in the *muso* fields. Most of the women cultivated vandzoe, but in a small scale. The women described 5 different local varieties, with a growth cycle varying between 60-118 days from sowing to maturity. The varieties with intermediate growth cycles (80-90 days) were most commonly grown. Local names referred to grain size and colour (red, black, white and spotted). The late variety *Fareba* (the big) and the early variety *Tigadimessenno* (the small) were most commonly grown.

Rice (*Oryza sativa* L., *Oryza glaberrima*)

Rice was traditionally considered as a female crop, grown on the women's *farolu* (rice fields) found near the rivers or at places where the water stagnated during the rainy season. The women could identify and describe 30 different local rice varieties with regard to growth cycle, plant growth habit and plant height, number of stems, grain yield, grain size, form and colour, preparation quality, utilisation and taste of the end product. The local varieties differed in growth cycle from 75-150 days. The main group of varieties were early ones, about 90 days. In many cases the women reported that they had abandoned the late varieties in favour of the earlier ones.

The diversity was biggest in Oualia arrondissement, and in one village a women group described 13 different local varieties in detail. Some of the varieties were specially adapted to «bas-fond» cultivation as the short cycled, and drought tolerant variety *Tege sabo* (harvest 3 times) and the later *Mere keno* (on the edge of the sand) high yielding but water demanding. Other varieties were adapted to rainfed cultivation as *Muso ka mese* (slim woman or sometimes simply called red rice), specially characterised by its good taste. Local names gave impressions of important characteristics of the variety, as the latter by small and slim grains with red coloured pericarp, or *Niara muso* (women's jewelry) a high yielding variety with long and nice grains. Some of the rice varieties were given female names (*Coumba*, *Binta* or *Houssa*) other referred to personal characteristics as thick, big, red ears, short, tall, etc. Selection of seeds for the next season was performed at harvest, selection criteria were big panicles with nice grains.

Local fonio (*Digitaria exilis* Stapf)

Women cultivated fonio on their *muso* fields, on sandy often poor soils in some distance from the village. Thirteen local varieties were described by the women, most of the varieties were found in villages in Oualia arrondissement. The varieties differed with regard to growth cycle, growth habit, grain yield, resistance to drought, grain size, colour and taste. The first sowing was undertaken in May, and was followed by subsequent sowings with different local varieties differing in growth cycle (90-120 days). The importance of fonio as a food crop varied between arrondissements, and was highest in Oualia where each women kept between 1-4 local varieties. The most common was to keep one

early, one medium and one late variety. The fonio was harvested in September-October, and the first harvest was an important food source in the hunger gap period.

Most of the varieties were placed by the farmers in two groups: *Fundinlinno* (early fonio) with three stems and white grained, sown in July at the same time as the maize, and *Konsomba* (late fonio) with 4 stems and red-white grained, sown in May. The early variety *Siraxoyo* from the first group and the late *Fundi ba* were cultivated in 50% of the villages examined.

Okra, Lady's finger (*Abelmoschus esculentum* L. Syn)

Okra was the most important vegetable crop in the area. Women cultivated okra mixed with maize and other crops on their *suxo* fields, or with groundnuts on their *muso* fields. A large diversity in the local okra material was found. The women identified and described 15 local varieties of okra that differed with regard to growth cycle, plant height, hairiness on stems, yield, fruit form, colour, taste and sliminess.

The growth cycle varied between 79 to 180 days from sowing to 50% harvest. Most of the varieties had a growth cycle between 90 and 120 days. A women could keep from 2-7 different varieties. *Xanja tarinno* (early okra) and *Xanja ba* (late, big fruited okra) were most commonly cultivated, but also *Turumba xanjo* (fruit of the Turumba tree) and *Xanja xonodaxa ba* (okra with big stomach) were commonly used.

The first fruit was left drying on the plant, and seeds stored in dried fruits in the kitchen until the next season. The smoke in the kitchen had a conserving effect on the okra seeds.

Eggplant, local aubergine (*Solanum incanum*)

The women considered eggplant as the second most important vegetable crop after okra. Six different local varieties were described and differed with regard to growth cycle, plant height, stem colour, fruit size and form, taste (bitterness) and colour. Four of the varieties could be placed in two groups: *Jaxatu xoyo* (white aubergine) and *Jaxatu finno* (black-violet aubergine), in each of the two groups an early (<90days) and a late (> 120days) variety were selected. In addition an early and late type of the local variety *Toyu*, with smaller dark fruits and an extremely bitter taste were developed. *Jaxato xoyo* was the most appreciated variety because of its big fruits and good taste.

Two fruits were left to mature on some of the best plants for seed production, perforated and left sun drying before kept in the kitchen.

Marrow (*Cucurbita pepo*)

Marrow needs organic soils with high fertility and women cultivated marrow on their *suxo* fields intercropped with early maize. Eight different varieties were described by the women, with regard to growth cycle (90-150 days), growth habit, fruit size, form, colour and taste. Local names referred to form and colour of the fruits.

Watermelon (*Citrullus lanatus*)

Generally female farmers cultivated watermelon on their *muso* fields, often intercropped with sorghum or groundnuts. Four different local varieties were described regarding to growthcycle (90-120 days), fruit size, colour and taste. *Fatafinsaro* (african watermelon) was preferred because of its yield potential and good taste.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The results showed that the local communities were capable of maintaining a great crop genetic diversity, and had kept a living tradition of classification, selection, maintenance and use of local varieties. Farmers described agromorphological diversity in response to use and preferences and diversity in terms of the crop's adaptive characteristics. The results are in accordance with other studies revealing widely practised seed selection and extensive agro botanical knowledge among subsistence farmers in the Third World countries (Richards P., 1989; Berg T.,1991; Bayush T., 1991)

Farmers' indigenous knowledge and skills concerning maintenance and use of local crop genetic resources were clearly gender differentiated, depending on gender roles and responsibilities in the local production system. Men and women did not only possess knowledge about different cropping systems, species and local varieties but also different and specialised knowledge about the same local variety. Men were the main holders of knowledge about genetic diversity in the main staple crops sorghum and maize. Women expressed knowledge about genetic diversity in a broader range of crops, most of these crops were traditionally grown exclusively by women. In the main staple crops, their knowledge was mainly concerning early maturing varieties for consumption in the hunger gap period. In all crops women could add important information on taste, texture as well as preparation and preservation preferences. Through their work and responsibilities women and men had gained knowledge which was unique and valuable for management of crop genetic resources.

The results from the study might be a good basis for introducing local strategies and activities aiming at supporting *in situ* management and improvement of locally adapted germplasm in subsistence farming systems.

Management strategies should be situation specific and be developed in close collaboration with the people concerned. Interventions might include training activities to improve farmers traditional knowledge concerning seeds and associated practices, support to local reproduction and distribution of seeds, improved treatment and storage of seeds and performance of farmers' tests with relevant local and modern varieties using farmers' criteria and preferences. The study might also be a good background for collection of germplasm for *ex situ* conservation.

To promote a sustainable development all strategies must be based on recognition of gender differentiated indigenous knowledge systems and skills concerning plant genetic resources. If not there is a great risk of losing diversity, information and possible contributions of knowledge. An understanding of gender differentiated management of genetic resources is also important to ensure that those who are actually conserving and developing the plant genetic resources are those supported and will benefit from relevant development interventions.

ACKNOWLEDGEMENT

The study was carried out in collaboration between Centre for International Environment and Development Studies (Noragric) and Programme Intégré de Développement de Bafoulabé (PIDEB), a project run by the Norwegian NGO « Fondation Commémorative de Strømme ». The study was financed by the Norwegian Sudan Sahel Ethiopia (SSE) program. I am indebted to the PIDEB staff, as well as the male and female farmers and seed selectors in Bafoulabé cercle for sharing their knowledge, their experience and enthusiasm.

BIBLIOGRAPHY

- Appleton. H. *et al.*, 1993. Women: Invisible technologists. *Appropriate technology* 20 (2):1-5
- Badri B. and A. Badri, (1994). Women and Biodiversity. *Development* (1): 67-71
- Bayush T., 1992. Report on the nature of women farmers participation and their expertise in activities directly related to the conservation, utilization and enhancement of plant genetic resources. Seeds of survival program. Addis Abeba, Ethiopia: 47pp.
- Bayush T., 1991. Community Management of Crop Genetic Resources in the Enset- Complex Farming Systems of Southern Ethiopia. M.Sc. thesis: Noragric, Agricultural University of Norway.
- Berg T., Bjørnstad Å., Fowler C. and T. Skrøppa, 1991. Technology options and the Gene Struggle. Noragric Occ. Paper Ser. C., 146pp.
- Bingen R.J., B. Simpson and A. Berthe, 1994. Analysis of service delivery systems to farmers and village associations in the Zone of Office de la Haute Vallée du Niger. Department of Resource Development Occasional Report. East Lansing: Michigan State University.
- Brush S.B., 1986. Genetic Diversity and Conservation in Traditional Farming Systems. *J. Ethnobiol.* 6(1): 151-167.
- Fernandez P.G. Indigenous seed practices for sustainable agriculture. *Indigenous Knowledge and Development Monitor* 2(2):9-12.

- Jiggins J.,1994. Changing the boundaries: Women centred perspectives on population and the environment. Washington D.C.: Island Press.
- Kjelstad M.A., 1990. Aspects of land use labour, capital and management. A study of households in a Peasant community. Oualia arr, 1. Region of Mali. M.Sc. thesis, Agricultural University of Norway:144pp.
- Richards P., 1989. Farmers Also Experiment: A neglected intellectual resource in African Science. Discovery and Innovation 1 (1), pp 19-25.
- Synnevåg G. and S. Diallo, 1993. Gestion des ressources génétiques des principales cultures locales hivernales dans le cercle de Bafoulabé. PIDEB-report. Fondation Commémorative de Strømme. 94pp.

SESSION 2

CONSERVATION DES RESSOURCES GENETIQUES EN RELATION AVEC LEUR UTILISATION

STRATEGIES FOR CONSERVATION OF GENETIC RESOURCES IN RELATION WITH THEIR UTILIZATION

Berthaud J.

ORSTOM, UR31: Diversity and Plant Breeding. Montpellier, France.

ABSTRACT

The general interest for genetic resources is based on the opportunities offered by their utilization. Genetic resources are a necessary starting point for plant improvement. Up to now, reflection on the management of genetic resources considered a three-step linear model:

conservation → evaluation → utilization

In this system, it is expected that genetic resources are kept in a gene bank, in the best possible way, i.e. using methods maintaining over time the initial genetic state of the accessions and conferring them the longest life possible. In this system, important characteristics of conservation of genetic resources are stability and availability. We present a choice of methods of conservation directed to the maintenance of genetic stability of accessions. We present also methods of conservation in relation with the availability of the genetic material for the various utilizations by the plant breeder.

Complementary methods are now proposed for the conservation of genetic resources. These methods correspond to a modified version of the linear model, with interactions between conservation, evaluation and utilization. These new methods place less emphasis on the conservation of genetically well defined accessions but promote genetic mechanisms allowing evolution of these accessions. This evolutionary conservation is obtained by management of experimental populations, or by « on-farm » management of landraces, relying on knowledge and activity of farmers, and on local breeding. For the wild relatives of crops, an *in situ* management is to be considered. Using some examples, we discuss the constraints of these new modes of genetic resources conservation and utilization.

INTRODUCTION

Three steps in the reflection on and interest in the genetic resources have been noted (Frankel and Brown, 1984). Pioneer works, as those of Vavilov (Crow, 1993), and H.V. Harlan (Harlan, 1957) have led to the development of the first phase, i.e. interest of the utilization of biodiversity for plant breeding. Starting in the seventies (Frankel and Bennett, 1970) and emphasizing on the concept of genetic erosion (IPGRI, 1993), the reflection has then been orientated towards the limited availability of genetic resources. Surveys were carried out, and collections established. Investigation was dedicated to surveying, sampling and conservation methods for this genetic material. A strong impulse to this research certainly came from the discovery of the susceptibility to *Helminthosporium maydis* of maize with male sterilizing « Texas » cytoplasm and the resulting epidemic that destroyed part of the maize crop in the USA in 1970 (Ullstrup, 1978). This mobilization led to the collection of many samples for most of the cultivated plants and the establishment of gene banks in many countries and in the centres of the CGIAR system (Consultative Group for International Agricultural Research) (IPGRI, 1993). The current questions addressed by investigation on genetic resources are now related to management of genetic resources. It is necessary to conserve successfully the collected material as long as possible, to regenerate this material when needed and to establish a more systematic utilization of the genetic resources by the breeders. Genetic resources are still by large an untapped reservoir of diversity.

A typical presentation of activities in genetic resources (IPGRI, 1993) is based on their two main components: conservation and utilization, with the conservation function played by *ex situ* gene banks, very often seed banks, managed by curators, and utilization under the responsibility of breeders (public institutions, seed companies, national agricultural research systems). As a complement, it has been proposed for a long time that conservation be also organized *in situ*, in the eco- and agrosystems where the current diversity has been maintained. This proposal was often linked

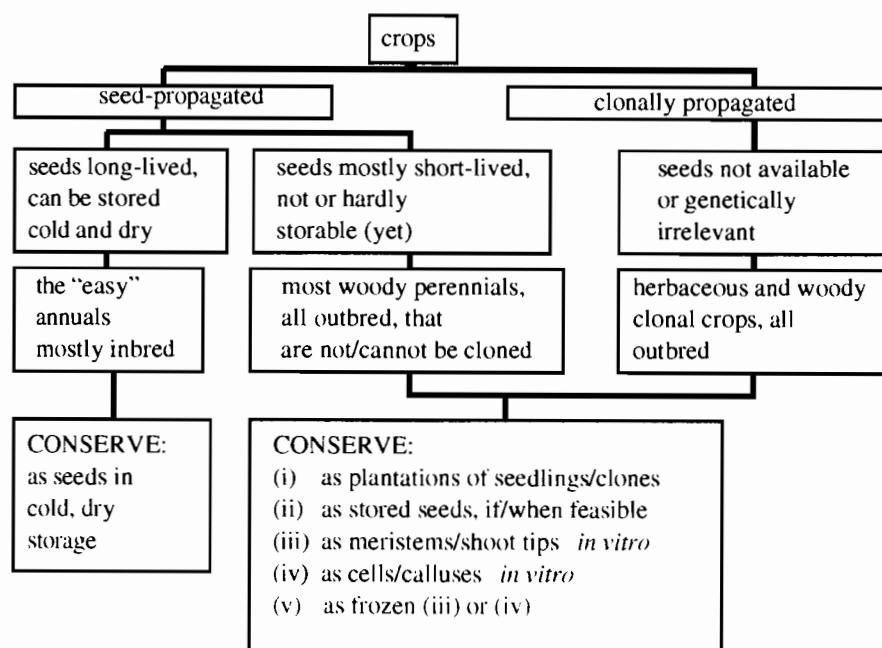
to a freezing of the system (Iltis, 1974; Benz, 1988; Benz *et al.*, 1990). For a few years now, this position has evolved (Brush, 1995). The concept of variety for example takes now into account that a variety is not only a set of genes resulting from the impact of natural selective forces or from the breeder, but is also the result of a voluntary intellectual construction (Bellon *et al.*, 1996). The farmer becomes one of the actors of the creation and maintenance of the present diversity. Beyond the cultural aspect, it is the concept of conservation of genetic resources that has to be modified to integrate also the possibility of maintenance of the processes that lead to the creation and maintenance of varieties as well as the maintenance of genes of these varieties (Worede and Mekbib, 1993).

The classic model proposes a linear system that goes from conservation to utilization, but other options already exist and could be implemented that would link conservation and utilization. In our presentation, we will describe various combinations of conservation-utilization, try to show advantages, disadvantages, implications and complexity of these solutions. We have tried to group the options according to three models that we call: linear model, triangle model, and circular model. These options are important to consider if one wants to conduct an economical study on strategies of genetic resources conservation. The three models will be described in the next paragraphs.

THE LINEAR MODEL

This linear model can be seen as classic, as it is the most widely used, especially in all the international centres of the CGIAR. It is conceived on a linear mode, i.e. from the conservation with the hierarchy of base collections, active collections and working collections to evaluation and utilization.

Fig. 1: Modes of conservation of plants according to their biological characteristics (Adapted from Simmonds, 1980).



This model relies on an *ex situ* conservation and puts emphasis on two points:

1) stability of the conserved material: the techniques used are aimed at reducing to a minimum the genetic variation, either at the level of genome of individual accessions, or at the level of the populations conserved. As shown in Fig. 1, different strategies of conservation will be followed according to the biological characteristics of the plants (Simmonds, 1980). Most useful will be the distinction between orthodox and recalcitrant seeds (Roberts, 1973).

2) availability of the material. The genetic resources are to be easily available to the breeders, who will be in charge of their utilization. The modalities of utilization are evolving as breeders have more and more access to new tools from molecular biology and the level of utilization becomes closer to the gene than the genotype. The *ex situ* collections have now reached impressive sizes, (table 1, IPGRI, 1993). A reflection started more than 10 years ago (Frankel and Brown, 1984) to work with collections of reduced size, the core collections (C.C.). These collections maintain a level of diversity representative of the reference collection but with a limited number of accessions and then become more manageable.

Table 1: Accessions of plant genetic resources conserved in the CGIAR system (IPGRI, 1993).

Centre	Crop	Number of accessions	Centre	Crop	Number of accessions
CIAT	<i>Phaseolus vulgaris</i>	23 711	ICRISAT	sorghum	32 890
	<i>Phaseolus lunatus</i>	1 836		pearl millet	21 919
	other <i>Phaseolus</i> species	1 305		chickpea	16 443
	cassava	5 035		pigeonpea	11 910
	cassava (<i>in vitro</i>)	4 788		groundnut	12 841
	wild cassava			finger millet	3 220
	forages-grasses	2 092		foxtail millet	1 452
	forages-legumes	17 927		proso millet	831
CIMMYT	breadwheat	52 839		little millet	423
	durum wheat	13 448		sawa millet	424
	barley	7 991		bamyard millet	188
	Triticale 13268			kodo millet	544
	rye	194	IITA	cowpea	15 185
	primitive wheat	4 523		wild <i>Vigna</i> (cowpea)	1 620
	wild wheats	2 984		yam	2 250
	teosinte	80		soyabean	1 500
	maize	10 893		bambara groundnut	2 000
	<i>Tripsacum</i>	80		cassava	1 704
CIP	potato	3 955		wild cassava	52
	sweet potato	4 895		<i>Musa</i>	440
	other Andean root & tuber	468		maize	1 343
	wild potato species	1 500		misc. food legumes	329
	wild sweet potato species	768		multipurpose trees	20
ICARDIA	barley	20 379		sweet potato (<i>in vitro</i>)	1 000
	breadwheat	6 806		taro (<i>in vitro</i>)	60
	durumwheat	17 496		rice	12 355
	<i>Aegilops</i>	1 897	ILCA	forages-legumes	6 759
	wild wheats	1 329		forages-grasses	1 775
	chickpea	8 256		forages-browse species	1 466
	wild chickpea	254	INIBAP	banana and plantain	563
	lentil	7 126			
	wild lentils	331	IRRI	<i>Oryza sativa</i> (Asian rice)	78 381
	fabo bean	4 124		<i>O. glaberrima</i> (African)	2 398
	forages-legumes	19 771		wild rice species	1 887
			WARDA	rice	6 076

Enforcing Stability

The selection of techniques used for the conservation relies only on biological traits of the plants. As shown in table 1, this will depend on availability of seed for the plants to be conserved, and behavior of seeds in relation with temperature and humidity factors.

According to Roberts (1973), seeds are orthodox when their preservation is favoured by a lowering of temperature and humidity, and recalcitrant when they react differently. For orthodox seeds,

preservation is carried out in cold rooms. Stability of conservation will depend on the species. Using positive temperature in the cold rooms will allow a conservation for no more than 50 years for most of the species, and in many cases, regeneration of seeds will be needed after some 20 years in conservation. For instance, the LAMP (Latin America Maize Project) (Salhuana, 1989) was started in 1983-1985 with the first objective of regenerating seeds for the many samples that had been collected in the fifties in this region and were in need of regeneration. About 15 000 accessions were involved in the process.

Using negative temperature, the viability of seeds can be extended. At the present time, experience is still limited with this technique, and it is difficult to have more than estimates of the duration of viability of seeds. An experiment with onions (Stanwood and Sowa, 1995) showed no decline in germination for seeds stored at -18°C and -196°C for a ten year period but a loss for seeds stored at +5°C. However this method of storage requires specific facilities that can be difficult to maintain in some countries.

These methods are used in the international centres, with negative temperature for the base collections and positive for the active collections. At ORSTOM, we keep at 4°C 3 500 accessions of sorghum and 3 500 of pearl millet. These accessions are landraces collected in West Africa from 1975 to 1980 (Clement, 1985). Now their germination rate ranges in average between 85 and 90% (Dussert, personal communication).

For plants with recalcitrant seeds or usually clonally propagated as potato, yam, cassava, banana, sugarcane, other methods are used: field gene bank, *in vitro* culture, cryopreservation. Field gene banks can have a high maintenance cost but are very effective for perennial plants with long generation cycle. An example is given by the field gene banks of coffee (Anthony, 1992). For perennial crops with a shorter life as yams and cassava, there are more problems as much more labor is requested for the repeated plantings.

Possibilities and technical constraints of *in vitro* culture have been reviewed by Engelmann (1991, 1992). The technique is available for many species. However, as the specific purpose of a genetic resources conservation is to preserve many different genotypes, we are faced with the problem of genotypes reacting differently to standard protocols of *in vitro* culture. Collections maintained *in vitro* are usually of small size. At ORSTOM a 200 genotype collection of yam is maintained in these conditions, with a transplanting every 6 months and 12 plantlets (replications) per genotype (Maurie *et al.*, 1993). However, a 5 000 sample collection of cassava is maintained at CIAT (IPGRI/CIAT, 1994).

Cryopreservation is a method of conservation that is receiving much attention. Various plant material, mainly from *in vitro* culture, as apices or embryos have been used for cryopreservation. Fine tuning of the technique is still required to be effective for most of the genotypes of many species. Engelmann *et al.* (1995) show a list of 38 species for which successful techniques are available to preserve somatic or zygotic embryos.

This technique has become routine for 80 genotypes of oil palm trees preserved as somatic embryos. Stem apices are used to preserve yam genotypes (Maurie and Trouslot, personal communication). Cryopreservation will become even more useful when it is possible to deep-freeze seeds, the technique becoming far more simple in this case. Success has already been reached with onion for example, and coffee trees (Normah and Vengadasalam, 1992; Dussert, personal communication). As the coffee trees have seeds considered as recalcitrant or intermediate (Ellis *et al.*, 1990), cryopreservation could be another route to maintain recalcitrant seed material.

These preservation methods, *in vitro* and cryopreservation, are confronted with the general problem of plant tissue culture which is the stability of genome of plant going through this process. Studies directed to this problem are in progress, for example in rice (Xie *et al.*, 1995) and tomato (Bogani *et al.*, 1995). Keeping in mind this problem, the cryopreservation methods offer the most efficient long term conservation. However, to take advantage of this possibility, one has to invest in establishing the protocols most appropriate for the considered species, and to set up the laboratory facility. At the present time, these requirements restrict the utilization of cryopreservation to small sized collections.

Enforcing Availability

In our linear model, the role of conservation is to distribute to the users, i.e. breeders, a genetic material quite similar to the material that was placed in storage, in order for them to have access to a material identical to the material used in the evaluation process. Utilization of the material is based on extraction of the interesting accessions from the gene bank and inclusion in a process of plant breeding. The simplest and most linear relation between conservation and utilization is represented by the case of *Panicum maximum* (Jank *et al.*, 1989). From surveys in East Africa, a field gene bank (base collection) had been established in Côte d'Ivoire. A working collection was extracted from this base collection and set up in Brazil. After evaluation in this country, genotypes have been selected and distributed. As apomixis is the reproductive mode of this species, no recombination has been involved in the whole process of conservation-utilization. The genotypes distributed as varieties are genetically identical to those collected in the wild and preserved in the original collection. In this case, it is quite important to ensure stability in the process of conservation, as availability of useful genotypes will directly depend on it.

Usually, genetic resources are used for transfer of genes to varieties already improved for many traits. It is the most often cited use for genetic resources. For example, in the case of tomato, *Lycopersicon esculentum*, many wild species have been used to introduce resistance traits and traits of technological interest into the cultivated form (Rick, 1987).

When we consider genetic resources as a source of genes more than genotypes, we can think of other ways of conservation that would offer a more easily available genetic material for this purpose. It would be beneficial to conserve pollen, especially for those species that have a long juvenile period. This would also help in getting through quarantine regulations. This method has already been proposed (Charrier *et al.*, 1984) but is still limited in its applications. Examples of short and medium term conservation have been published, based on a conservation at -18°C. Oil palm tree pollen has been preserved for 6 to 12 months (Benard and Noiret, 1970). Van der Vossen and Walyaro (1981) have kept coffee pollen viable for 2 to 6 years. Using cryopreservation techniques would help in extending the storage life of this material. Barnabas and Rajki (1981) were successful in conserving maize pollen at -196°C. At CIMMYT (Inagaki and Mujeeb-Kazi, 1994) results were obtained by freezing the pollen grains at -196°C and storing them at -80°C. We were able to preserve *Tripsacum* pollen by freezing and storing it at -80°C after a slight dehydration. For all these plants, the dehydration step is crucial. On the disadvantage side, the pollen conservation could be difficult because some species produce a very limited amount of pollen, or it is very difficult to collect. It is also very difficult to go through the dehydration process as the range of optimum humidity for pollen conservation is quite narrow. An advantage is that pollen can be easily transported, and when used, an F1 generation is directly produced, shortening the process of gene transfer by recombination.

The new techniques of molecular biology and genetics now offer opportunities of gene isolation and gene transfer through genetic engineering. Resistance genes have been isolated from plants and transferred into other plants. A recent example is the gene *Xa21* conferring resistance to *Xanthomonas oryzae* (Song *et al.*, 1995). These techniques extend the availability of the genetic material as it is expected that genes from one given species will be useful when transferred into another species. These techniques make use of YAC and BAC (yeast and bacterial artificial chromosomes). Genome of plants can be available as DNA fragments (Woo *et al.*, 1994; Wing, 1995). Conservation of these artificial chromosomes can be a genetic resource conservation, offering an easy access to many interesting genes. This method is limited in the strict sense of conservation of diversity. The number of alleles per locus maintained through this method will be very small. However, it could be a very important step to a wider use of natural genes, especially as new technologies offer possibility to identify other versions of known genes, using a combined transposon and PCR technique (McElver *et al.*, 1995) for example.

Another access to the collections: the core collections

We already mentioned the problem of continuously expanding numbers of accessions in the gene banks, making more difficult the conservation, management and utilization of the genetic resources. A solution to this problem has been proposed by Frankel and Brown (1984) and Brown (1989): the core collections (C.C.). The principle is quite simple: a sampling is made in the base collection, with the

purpose of conserving most of the diversity. The result is a smaller collections representative of the existing diversity, that is easier to manage, evaluate and utilize. Various methods have been proposed for this sampling. They rely on the available information, either on morphological and adaptive traits or on neutral traits as molecular markers. Efficiency of these methods have been evaluated. A review on the C.C. has been presented recently by Hamon *et al.* (1995). Designing a core collection will make the best use of the diversity studies that are now available for most of the crops preserved in gene banks.

This C.C. approach is tested and applied in different ways in many collections. In some cases, it is a flexible way to have access to the main collection, relying on selected criteria, some of them being user-defined. It is the case in CIMMYT for the maize collection for example (Tabata, 1995). For others, it is a fixed entry to the main base collection, the sampling being done only once; an example is the US perennial *Medicago* collection (Basigalup *et al.*, 1995). In some other cases, after completion of sampling, only the core collection will be maintained.

Core collections offer an opportunity to work with a number of accessions quite manageable. Breeders will then be more willing to evaluate these collections for specific traits. As information builds up, utilization will become more active. C.C. are an excellent tool for improving the utilization of genetic resources collections and do not modify the approach of conservation-utilization we called the linear model, but C.C. are a more efficient way to extract interesting genes from the main collections to be used for transfer to varieties under improvement. To summarize, the linear model is a mode of conservation-utilization adapted to the large collections and for an utilization that could be named gene by gene. It is well adapted to a biotechnological utilization of genetic resources, the techniques of genetic engineering permitting a gene by gene approach. The linear model has proved to be effective for the improvement of many crops, for example, wheat, tomato (Rick, 1987), and many more. Thanks to the establishment of core collections, the exploration of the main collections becomes easier and leads to interesting results, especially when looking for disease resistance genes. An example is offered by the *Pisum* core collection in the UK, that was used to identify new resistance genes (Matthew and Ambrose, 1994).

THE TRIANGLE MODEL

After presenting the linear model, one characteristic of which is a gene by gene use, we will present the model we called triangle. It is based on a reflection to utilize the wide range of diversity available in gene banks for building new varieties minimizing the loss of diversity at each step of the process of improvement. We called this model triangle to remind the progressive restriction of diversity from the original accessions maintained in the base gene banks to the released varieties.

The model, as proposed by Gallais (1990, Fig. 2), is a multi-step procedure. Each step corresponds to a phase of selection and restriction of variability. We will present two very different examples on maize that we consider representative of this model: the Latin American Maize Project (LAMP) and the INRA/PROMAIS project.

The LAMP project (Salhuana, 1989; Sevilla *et al.*, 1994) has been established on a large scale, covering all of Latin America. It was based on the need to regenerate the accessions maintained in many collections in Latin America, resulting from surveys made mainly from 1950 to 1960 and on the idea that this regeneration process could advantageously be used to extract more interesting varieties through several steps of selection and reach the production of elite varieties. The project started with the regeneration of 15 000 accessions. The accessions were grouped into 32 regions, and 5 agroecological homologous areas, i.e. from lowland to highland and temperate. After the first step of regeneration, 20% of the accessions were kept, according to their *per se* value. After the second step, only 5% of the regenerated accessions were selected. This represents a selection of roughly 1% and actually 270 elite varieties have been selected. The selection process was based on a series of 16 descriptors, involving most of the agronomic traits, including yield. The third step in the selection process was based on the combining abilities of the elite lines. In this project, the genetic gain has been obtained through several steps of selection, restricting the diversity existing in the base collection, and keeping the most promising accessions. The genetic constitution of the material actually used for the creation of new varieties is in fact very reduced when compared to the material available at the beginning of the project. The possibility offered by the recombination process for

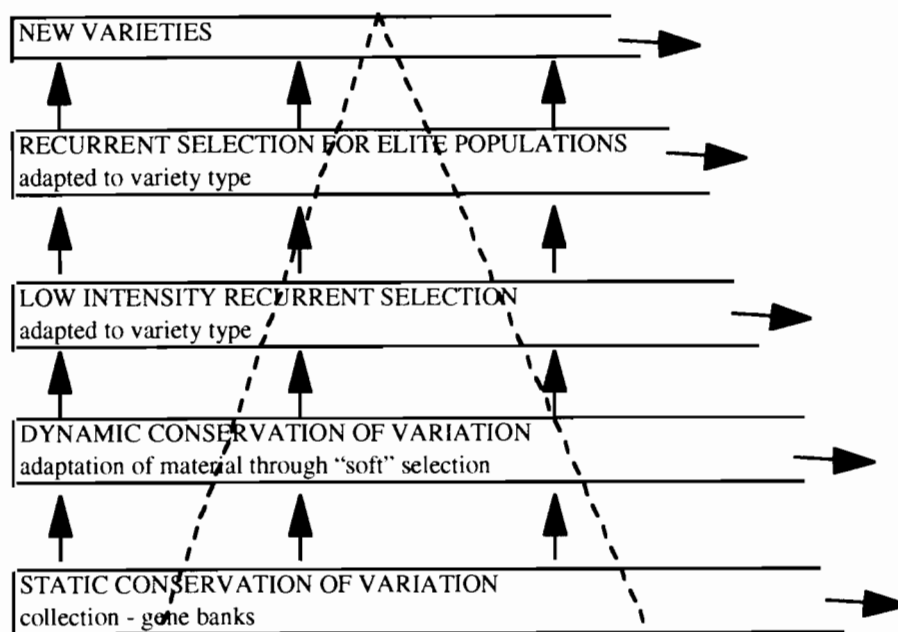
genetic gain has been implemented only in the third phase. In fact, in this example, we are very close to the linear model we proposed in the first paragraph.

The second example, the INRA/PROMAIS project, is closer to the model proposed by Gallais. The recombination phenomenon has been used at several steps of the process leading to the creation of new varieties. This project (INRA/PROMAIS, 1994) started with a collection of 1 236 accessions of maize, adapted to temperate climate. A first phase of increase of this material was used to test the material for its *per se* value and its value in test cross, with 3 testers.

Various traits were recorded, including yield. During the first step of this study, it was noted that geographical origin did not relate with agromorphological traits estimated in topcross trials (Lavergne, 1988). From these results, the collection has been structured in pools on the basis of:

- 1) utilization criteria: earliness, grain versus silage;
- 2) two levels of diversity: restricted base pool with 10 best accessions per pool; broad base pools with more than 30 accessions per pool;
- 3) results of combining ability tests with several testers.

Fig. 2: Strategy proposed to move from static conservation of genetic resources to creation of new varieties. Dash line triangle indicates the restriction of variation as the genetic material is moved towards new varieties (After Gallais, 1990).



Several accessions were used in various pools, and a total of 630 accessions was included in the organization of these pools (half the size of the original collection). Improvement of the pools by a step of crossing with elite material was tested. The resulting pools were called improved broad base pools. A large amount of the original collection is used in the successive steps of improvement. However, the creation of the different pools has led to a subdivision, limiting genetic exchanges to sub-samples of the whole collection for the subsequent steps of improvement. Pools were evaluated after a step of increase by random mating. It was observed that the genetic gain is variable and depends on the pools considered, but the main improvement came from the crosses with elite material. The strong selection that led to the restricted base pools was not sufficient to produce a genetic material coming close to the level of the improved broad base pools. A phase of recurrent selection was established for the improved broad base pools. After a cycle of recurrent selection, the yield level reached was close to commercial checks. The various steps of this project have been documented by analysis of the evolution of the many quantitative traits monitored and by analysis of molecular markers. It has been observed that the intra-accession diversity is large, and represents about 75% of the total diversity, estimate based on isozyme diversity (Lefort-Buson *et al.*, 1991). This result gives a

reason to organize the pools according to their specificity of utilization and not on the general inter-accession genetic diversity which is low.

The genetic material produced during the project corresponds to several levels of improvement, with several levels of restriction of diversity. All this material can be a base for further improvement and participates in a process of reorganization of diversity. In this example, there is no longer a clear cut between the base collection from which genes can be extracted and the process of breeding this material. It is a stepwise process that combines conservation and utilization.

Other schemes have been proposed (Kannenbergh, 1981; Namkoong *et al.*, 1980) that are close to those already described and can be of more general application, but still fall under the triangle model. The scheme, MPBS: Multiple Populations Breeding System from Namkoong *et al.* (1980) can be presented briefly.

It is designed to maintain a high diversity, relying on subdivided populations maintained in several different environmental and/or agronomic conditions. Within each subpopulation, an improvement is proposed by recurrent selection, to reduce the pace of restriction of diversity. The level of improvement is the same in all the subpopulations. If we consider also the possibility of establishing different types of subpopulations and gene exchanges between subpopulations at some steps of the conservation process, this system becomes quite flexible, and can be adapted to forest tree breeding as well as to crop breeding.

The examples presented explored ways of conservation-utilization that allow a progressive shift from conservation to utilization, with a certain loss of diversity and gain of adaptation to designed objectives. However, this restriction of diversity that justifies the name of triangle model, does not prohibit new introduction of foreign accessions and genes. The INRA/PROMAIS project showed that the cross between elite material (from other improvement programmes) and landraces is an effective way to improve genetic material.

This conservation is dynamic. New genetic structures are created by grouping accessions from various origin in pools. Within pools, an evolution is favoured by recurrent selection. The genetic material proceeding from these various steps of improvement is available for inclusion in other improvement projects and is conserved on the same basis as the base collection. This conservation-utilization system could become quite complex if it is organized at a global level, but is well adapted to projects of a limited size, i.e. for the needs of a country or a region.

THE CIRCULAR MODEL

In the two first models presented, the relation between conservation and utilization is a one way process. Conservation is followed by utilization. The utilization is linked to a reduction of diversity and when new needs appear they will be satisfied by returning to the base collection. In this case, the key stage is the static conservation of the broadest diversity available in genetic material. But other systems have been proposed to take into account the evolution and evolutionary potential of the genetic material (Eriksson *et al.*, 1993). Evolution is favoured by conserving the plants *in situ*, i.e. in the same conditions as they have been for a long time, facing diseases and pests, and participating in gene flow between populations. For crops, the *in situ* conservation would be experienced on-farm, as the landraces have been created and maintained by the farmers themselves, with their own selection pressure and process, and with controlled gene flow between wild and cultivated forms or between landraces.

One can imagine that when this system is well established, there is no need for more static conservation *ex situ*, conservation function relying only on the *in situ* activity. However, it can be thought that these varieties maintained *in situ* represent a source of valuable material for other areas of the concerned crop or species, under other agro-ecological conditions, and that their *ex situ* conservation will bring a benefit. Accessions from gene banks can also be increased and tested in new sites, and become adapted to these new sites. It is this relation between *in situ* conservation and *ex situ* conservation, and between genetic material corresponding to genetic resources and material used as varieties that we consider when we present the circular model, basically a shuttle between conservation and utilization.

The purpose is to find a system that will maintain or enhance the evolutionary potential of the plants to be conserved, by exploiting the mechanisms at the origin of the present diversity. At our time scale, these mechanisms are selection, migration, drift, and recombination.

In the experiments found in the literature, two situations are distinguished:

1) Populations are maintained in natural conditions, that can be field conditions in the case of crops. The evolutionary mechanisms are maintained and the action of farmer in the process is limited to a low level compared with the natural forces of selection. This system is called dynamic conservation. A precursor project of dynamic conservation was started in 1928 by H.V. Harlan (Harlan, 1975) for barley and conducted for more than 60 generations (Allard, 1988). We report below another example, for bread wheat in France (Henry *et al.*, 1991; Le Boulc'h *et al.*, 1994).

2) Diversity is maintained in the farmers' fields by the farmers. Evolutionary constraints are imposed by the farmers, in their search for varieties better adapted to their changing needs. At the present time, this situation is more a subject of reflection than experimentation. However, we will present some examples of activities related to this type of evolutive on-farm or *in situ* conservation.

The Dynamic Conservation of Bread Wheat

This experiment started in 1984 (Henry *et al.*, 1991) with 3 synthetic populations, built from 16 parents and established on 20 sites in France. Seeds are not exchanged between sites. One of these synthetic populations includes a proportion of nuclear male sterile plants. In this population, only the male sterile plants are harvested and their seeds used for the next generation. In this case, the reproductive strategy of the population is strictly allogamous, while the other populations reproduce naturally with a high rate of autogamy.

The 3 populations have been observed for a set of morphological and resistance traits for 10 generations. Their evolution has also been documented by using molecular markers. It was noted through the generations that the evolution was directed towards different states depending on the sites. This evolution involved all the traits that have been documented including the disease resistance genes for powdery mildew, *Erysiphe graminis*. The frequency of the resistance genes has been modified as well as the number of resistance genes associated in a genotype. These parameters have been very different between sites (Le Boulc'h *et al.*, 1994). It was also shown by these studies that competition between genotypes play a large role. Genotypes corresponding to the tallest plants are favoured by the competition. Conversely, the frequency of dwarfing genes is diminishing (Goldringer *et al.*, 1994). But these genes contribute to the genetic constitution of the most efficient modern varieties. In this case, the natural selection conferred a higher selective value to plants that are not agronomically interesting in the current cropping environment.

We deduce from this experiment that these populations, placed in natural conditions were genetically flexible and capable to react to different conditions of cultivation. The experiment presented was simple in its design but it could be easily modified and become more complex when gene flows are organized through the different sites. This model could also be used for other plants and integrate the relationship between wild, weed and cultivated forms of a crop.

At different steps of evolution of these populations, an *ex situ* phase of conservation could also be implemented to:

- 1) conserve and distribute this material to interested breeders;
- 2) create a shift in the evolution of the material for resistance to diseases. Specially when the reaction between pathogen and host is of the gene for gene type, the pathogens develop races adapted to the cultivated varieties. When cultivated varieties are replaced by new ones, races of the pathogen can disappear and former resistance genes in the plants become useless and disappear also. Conserving *ex situ* these varieties, or these populations under dynamic conservation, will allow an accumulation of resistance genes in the collection, ready for new cycles of selection in the field.

Conserving Diversity On-farm

Very often, it has been reported that modern varieties that bring with them a higher productivity are displacing the traditional landraces, reducing the available diversity in the process as these modern varieties have a lower genetic diversity (IPGRI, 1993). The on-farm conservation has been presented

as a response to this genetic erosion phenomenon by freezing the evolution of agricultural activities (Iltis, 1974; Benz, 1988). Under this acception, it is not desirable as there is no reason to impose this constraint to a social group. However, Brush (1995) shows that there are at least some examples when farmers maintain modern and traditional varieties in the same areas. The examples given are taken from wheat, potato, and maize. One can imagine that on-farm conservation is linked with a local improvement and breeding, limiting the need for modern varieties to be introduced directly. We present a case study of management of traditional landraces by farmers, in a rural community, Cuzalapa, in the State of Jalisco in Mexico (Louette, 1994). In this rural community the main crop is maize, cultivated under a rainfed and an irrigated cycles. Six cycles were observed. The author noted that these farmers maintained 6 local varieties and 3 varieties considered as foreign, i.e. from recent introduction. But during this period, 17 other varieties were also introduced, tested or maintained at a lower scale. All these varieties cover different cycle lengths and grain colors. This diversity is conserved not only by farmers sowing their own seeds (53% of the planted plots were sown with seeds from this origin), but also by seed exchange between farmers within the community (36%) and from outside (11%). This village is typical in Mexico, and such a diversity is also found in other countries for other crops (Brush, 1995). For conservation purposes, a village can be considered as a real laboratory for evolution, where natural selection pressures and farmers' selection pressures are applied.

Maintenance of such a diversity is obtained by partly subdivided populations (equivalent to varieties). Varieties planted side by side in the same fields, exchanges with other communities, and alternating irrigated and rainfed cycles are situations that bring a high gene flow and very distinct selection pressures to act on these populations. In this system, varieties that are conserved do not correspond to commercial criteria of stability and uniformity. What is maintained is more a process of evolution through gene flow and mechanisms of recombination, selection and drift than a fixed content of genes. This system corresponds to an open genetic system, i.e. relying continuously on exchanges with the outside, testing new varieties in the village, going through a process of adoption or rejection and eventually diffusion of new forms outside the village. As there is no formal distinction between genetic resources and varieties, the entries for this system can be elite material and/or landraces from other environments, the output of the system is genetic resources and varieties. Stability in the system is only observed for gene flow and for traits that are selected for by the farmers, mainly ear and grain traits (Louette, 1994). This example is a good illustration of how a « simple » farmer's management of seeds can correspond to a very complex and effective management of varieties and genetic resources, where there is not clear distinction between genetic resources and varieties, utilization and conservation.

We consider this system a circular model for the management of genetic resources because the model of evolutionary conservation should be coupled with a static conservation process, allowing the distribution of the material maintained in the village (and in others) and then permitting access to this material for other potential users. The static conservation step could play a buffering role and could be a backup against some unpredictable evolution. In fact, if this system presents several advantages, it is not protected against rapid and local evolution of the rural societies involved. In the example we described, in the village of Cuzalapa, it could be decided to plant sugar cane in place of maize as a sugarmill will be built in this area and this commodity could offer a higher return.

The phase of static conservation should be conceived only as connected with the dynamic, on-farm conservation. What should be established is a small size short or medium term *ex situ* conservation. Varieties conserved *ex situ* could be reintroduced in the fields when needed, and replaced with a high turn-over. With such a system of exchanges, evolution for the material conserved *in situ* and *ex situ* will be maintained at the same pace. As this system is quite open, it is still possible to integrate new genetic material at each step, bringing new sources of potential improvement. This integration of new genetic material could be realized by activities of local breeding.

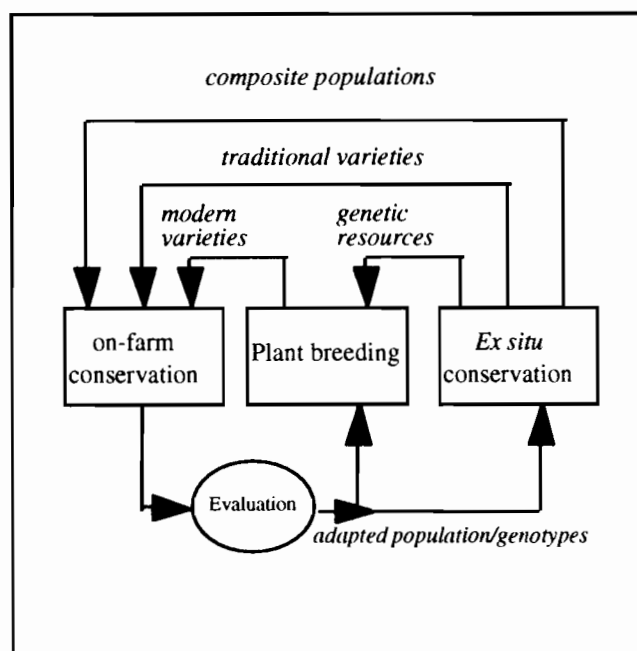
An example could be the size of the maize plant. In his backcross experiments between landraces and elite material in Mexico, Marquez-Sanchez (1993) showed that important genetic gains can be produced. He obtained a 28% increase in yield in BC1. In the INRA/PROMAIS project, crosses between elite material and landraces brought also an improvement for the observed traits. This local breeding would bring less drastic changes to the genetic structure of the landraces and the resulting improved landraces could compete efficiently against modern varieties. It could also make use of lines

specially developed by large breeding institutions for this purpose, or use of varieties from other areas of cultivation conserved *ex situ*. There is a possibility of a coupling between conservation and utilization that is quite different from the linear model we described at the beginning of this article.

A Future for the Circular Model

The model we described accepts many variations, from dynamic conservation to on-farm conservation, including various types of actors, playing with different types of genetic material, wild, weed, cultivated, with different modes of reproduction, with different rates of gene flow between populations and varieties. This model has to be tested now on a larger basis, to evaluate its feasibility, efficiency and stability. Proposals to apply this model exist, for example for rice in South East Asia (Bellon *et al.*, 1996, Fig. 3). It would be of special interest to document genetically this new process of conservation. The methodological framework requires experiments that are not easily set up without perturbing too much the system, and their many intervening actors responding to constraints that are only partly genetic. It is a real challenge.

Fig. 3: Possible exchanges of genetic material between on-farm conservation, plant breeding and *ex situ* conservation (Bellon *et al.*, 1996).



This on-farm and *in situ* conservation and utilization is conceivable at the field or village level. It is interesting at a higher level but could become rapidly quite complex if it had to be promoted as an institutional activity. We think it is more appropriate to a participatory approach, limiting the relations with institutions to exchange of genetic material.

CONCLUSION

The models we presented, linear, triangle, circular, show that conservation and utilization strategies are multiple. We can imagine more variations from the examples we gave. The utilization of new tools, as the marker assisted selection introduces a higher efficiency in the creation of new varieties, in the transfer of genes by genetic recombination and allows a broader use of genes available in the gene banks.

Other new and useful techniques, especially genetic engineering, offer new ways of utilization of genetic resources and conversely new forms of gene storage should be made available. The

genetically transformed plants, harboring new gene, should become also valuable for gene conservation.

Decisions related to selection of the most efficient ways of conservation should not be based only on genetic strategies but should also take into account the economical aspect, i.e. costs, benefits, and risks of these strategies. A reflexion has been proposed (Joly and Trometter, 1994) for some of these genetic options but should be broaden to the new possibilities that are appearing. Discussion between geneticists and economists would be most beneficial for defining consolidated strategies of genetic resources conservation.

Realizing that *ex situ* conservation is not the unique way of conserving genetic material for the improvement of future varieties but that *in situ* and on-farm conservation have a role to play in the process of conservation, introduces new relationships between farmers and breeders, between users and managers of genetic resources (Berg, 1993; Hardon and de Boef, 1993; Pham *et al.*, in press). It is a field wide open for new investigations and experiments, for new relations between scientists and users, and a different distribution of responsibility in conservation of genetic resources.

Cette présentation est reproduite de l'article : « Julien Berthaud 1996. Stratégies for conservation of genetic resources in relation with their utilization. Euphitica 00: 1-12 Special Eucarpia 1996 ». Avec l'aimable permission de Kluwer Academic Publishers

BIBLIOGRAPHY

- Allard, R.W., 1988. Genetic changes associated with the evolution of adaptedness in cultivated plants and their wild progenitors. *J. Hered.* 79: 225-238.
- Anthony, F., 1992. Les ressources génétiques des caféiers. Collecte, gestion d'un conservatoire et évaluation de la diversité génétique, 320 p.
- Barnabas, B. & E. Rajki, 1981. Fertility of deep-frozen maize (*Zea mays* L.) pollen. *Ann. Bot.* 48: 861-864.
- Basigalup, D.H., D.K. Barnes & R.E. Stucker, 1995. Development of a core collection for perennial *Medicago* plant introductions. *Crop Sci.* 35: 1163-1168.
- Bellon, M.R., J.L. Pham & M.T. Jackson, 1996. Genetic conservation: a role for rice farmers. In: N. Maxted, B.V. Ford-Lloyd & J.G. Hawkes (Ed.). *Plant Conservation: the In situ Approach* (In press), Chapman and Hall, London.
- Benard, G. & J.M. Noiret, 1970. Le pollen de palmier à huile : récolte, préparation, conditionnement et utilisation pour la fécondation artificielle. *Oléagineux* 25(2): 67-73.
- Benz, B.F., 1988. *In situ* conservation of the genus *Zea* in the Sierra de Manantlan Biosphere Reserve. In: Recent advances in the conservation and utilization of genetic resources. Proceedings of the Global Maize germplasm Workshop, Cimmyt, Mexico: 59-69.
- Benz, B.F., L.R. Sanchez-Velasquez & F.J. Santana Michel, 1990. Ecology and ethnobotany of *Zea diploperennis*: preliminary investigations. *Maydica* 35: 85-98.
- Berg, T., 1993. The science of plant breeding: support or alternative to traditional practices? In: W. de Boef, K. Amador, K. Wellard & A. Beddington (Ed.). *Cultivating knowledge: genetic diversity, farmer experimentation and crop research*, pp. 72-77. Intermediate Technology Publications.
- Bogani, P., A. Simoni, P. Bettini, M. Mugnai, M.G. Pellegrini & M. Buiatti, 1995. Genome flux in tomato auto- and auxo-trophic cell clones cultured in different auxin/cytokinin equilibria. I. DNA multiplicity and methylation levels. *Genome* 38: 902-912.
- Brown, A.H.D., 1989. The case for core collections. In: *The use of plant genetic resources*, pp. 136-156. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Brush, S.B., 1995. *In situ* conservation of landraces in centers of crop diversity. *Crop. Sci.* 35: 346-354.
- Charrier, A., Lourd M. & Pernès J., 1984. La conservation des ressources génétiques. In: *Gestion des ressources génétiques des plantes. Tome 2: Manuel*, pp. 193-237. Lavoisier, technique et documentation, Paris.

- Clement, J.C., 1985. Les mils pénicillaires de l'Afrique de l'Ouest: prospections et collectes. IBPGR - ORSTOM, Rome - Abidjan, 231 p.
- Crow, J.F., 1993. N.I. Vavilov, martyr to genetic truth. *Genetics* 134: 1-4.
- Ellis, R.E., T. Hong & E.H. Roberts, 1990. An intermediate category of seed storage behaviour? I. Coffee. *J. Exper. Botany* 41: 1167-1174.
- Engelmann, F., 1991. *In vitro* conservation of tropical plant germplasm - a review. *Euphytica* 57: 227-243.
- Engelmann, F., 1992. Les nouvelles méthodes de conservation *ex situ*. In: Complexes d'espèces, flux de gènes et ressources génétiques des plantes, pp. 435-445. B. R. G., Paris.
- Engelmann, F., D. Dumet, N. Chabrilange, A. Abdelnour-Esquivel, B. Assy-Bah, J. Dereuddre & Y. Duval, 1995. Factors affecting the cryopreservation of coffee, coconut and oil palm embryos. *Plant Genetic Resources Newsletter* 103: 27-31.
- Eriksson, G., G. Namkoong & J.H. Roberds, 1993. Dynamic gene conservation for uncertain futures. *For. Ecol. and Management* 62: 15-37.
- Frankel, O.H. & E. Bennett, 1970. Genetic resources in plants - their exploration and conservation. F.A. Davis Co., Philadelphia.
- Frankel, O.H. & A.H.D. Brown, 1983. Current plant genetic resources - a critical appraisal. In: M.S. Swaminathan, V.L. Chopra, B.C. Joshi, R.P. Sharma & H.C. Bansal (Ed.). International Congress of Genetics, New Delhi, India, December 12-21 1983: plenary symposia and symposia sessions, pp. 163-165, Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi.
- Gallais, A., 1990. Théorie de la sélection en amélioration des plantes. Collection Sciences agronomiques. Masson, Paris.
- Goldringer, I., J.L. Pham, J.L. David, P. Brabant & A. Gallais, 1994. Is dynamic management of genetic resources a way of pre-breeding? In: Evaluation and exploitation of genetic resources pre-breeding. Proceedings of the genetic resources section meeting of Eucarpia: 15-18 March 1994, pp. 163-170, F. Balfourier & M.R. Perretant, Clermont-Ferrand.
- Groupe Maïs DGAP-INRA & Promaïs, 1994. Cooperative program for management and utilization of maize genetic resources. In: F. Balfourier & M.R. Perretant (Ed). Evaluation and exploitation of genetic resources pre-breeding. Proceedings of the genetic resources section meeting of Eucarpia: 15-18 March 1994, pp. 63-69, F. Balfourier & M.R. Perretant, Clermont-Ferrand.
- Hamon, S., S. Dussert, M. Noirot, F. Anthony & T. Hodgkin, 1995. Core-collections - accomplishments and challenges. *Plant Breeding Abstracts* 65(8): 1125-1133.
- Hardon, J.J. & de Boef W.S., 1993. Linking farmers and breeders in local crop development. In: W. de Boef, K. Amanor, K. Wellard & A. Beddington (Ed.). Cultivating knowledge: genetic diversity, farmer experimentation and crop research, pp. 64-71, Intermediate Technology Publications.
- Harlan, H.V., 1957. One man's life with Barley. Exposition Press, New York, 223 p.
- Harlan, J.R., 1975. Crops & Man. American Society of Agronomy, Inc. - Crop Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 2nd Ed., 284 p.
- Henry, J.P., C. Pontis, J. David & P.H. Gouyon, 1991. An experiment on dynamic conservation of genetic resources with metapopulations. In: A. Seitz & V. Loeschcke (Ed.). Species conservation: a population-biological approach, pp. 185-198, Birkhauser, Basel.
- Iltis, H.H., 1974. Freezing the genetic landscape - The preservation of diversity in cultivated plants as an urgent social responsibility of plant geneticist and plant taxonomist. *Maize Genetics Cooperation News Letter* 48: 199-200.
- Inagaki, M. & A. Mujeeb-Kazi, 1994. Storage of maize pollen for use in haploid production of hexaploid wheat. *Breeding Science* 44: 387-390.
- IPGRI, 1993. Diversity for development. The strategy of the International Plant Genetic Resources Institute. IPGRI, Rome, 62 p.
- IPGRI/CIAT, 1994. Establishment and operation of a pilot *in vitro* active genebank. Report of a CIAT-IBPGR Collaborative Project using cassava (*Manihot esculenta* Crantz) as a model. IPGRI - CIAT, Rome - Cali, Colombia, 59 p.
- Jank, L., Y. Savidan, J.C.G. Costa & Valle C.B., 1989. Pasture diversification through selection of new *Panicum maximum* cultivars. In: XVI International Grassland Congress: Nice, France, pp. 275-276.

- Joly, P.B. & M. Trometter, 1994. Conservation du patrimoine génétique: aspects économiques et institutionnels. *Genet. Sel. Evol.* 26, suppl. 1: 331s-342s.
- Kannenberg, L.W., 1981. Activation and deployment of genetic resources in a maize breeding program. In: G.G.E. Scudder & J.L. Reveal (Ed.). *Evolution today. Proc. of 2nd Int. Congress of systematics and evolutionary biology*, University of British Columbia, Vancouver, pp.:392-399, Hunt Institute for Botanical Documentation, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh.
- Lavergne, V., 1988. Variabilité entre populations de maïs (*Zea mays* L.). Approche biométrique et approche enzymatique. Thèse Doctorat. INAPG, 93 p.
- LeBoulc'h, V., J.L. David, P. Brabant & C. Vallavieille-Pope, 1994. Dynamic conservation of variability: responses of wheat populations to different selective forces including powdery mildew. *Genet Sel Evol* 26, Suppl. 1: 221s-240s.
- Lefort-Buson, M., V. Lavergne, J.J. Daudin, A. Charcosset, J.P. Sompoux & A. Gallais, 1991. Genetic variability among populations of maize germplasm. 2. enzymatic polymorphism and its relationship to quantitative trait diversity. *Maydica* 36: 237-246.
- Louette, D., 1994. Gestion traditionnelle de variétés de maïs dans la Réserve de la Biosphère Sierra de Manatlan (RBSM, états de Jalisco et Colima, Mexique) et conservation *in situ* des ressources génétiques de plantes cultivées. Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. 253 p.
- Malaurie, B, R. Pungu, R. Dumont & M.F. Trouslot, 1993. The creation of an *in vitro* germplasm collection of yam (*Dioscorea* spp.) for the genetic resources preservation. *Euphytica* 65: 113-122.
- Marquez-Sanchez, F., 1993. Mejoramiento genetico de maices criollos mediante retrocruza limitada. In: *El maiz en la decada de los 90, memorias del simposio*, pp. 16-19, SARH, Jalisco, Mexico.
- Matthews, P. & Ambrose M.J., 1994. Development and use of a 'core' collection for the John Innes *Pisum* collection. In: F. Balfourier & M.R. Perretant (Ed.). *Evaluation and exploitation of genetic resources pre-breeding. Proceedings of the genetic resources section meeting of Eucarpia*: 15-18 March 1994, Clermont-Ferrand, p. 99-108.
- McElver, J., B. Drummond, C. Garnaat, I. Sunjevaric, C. Bendixen, R. Rothstein & B. Bowen, 1995. Cloning and targeted mutagenesis of *RAD51* homologs in maize. In: *Harnessing apomixis, a new frontier in plant science, international conference* (Sept. 25-27, 1995), College Station, Texas, USA,.
- Namkoong, G., R.D.Barnes & J. Burley, 1980. A philosophy of breeding strategy for tropical forest trees. *Trop. For. Pap.* 16, pp. 67. Oxford University, Oxford.
- Normah, M.N. & M. Vengadasalam, 1992. Effects on moisture content on cryopreservation of *Coffea* and *Vigna* seeds and embryos. *Cryo-Lett.* 13: 199-208.
- Pham, J.L., P. Brabant, J.L. David, I. Goldringer, J.P. Henry, V. Le Boulc'h, A. Gallais & P.H. Gouyon. (accepted). An example of dynamic conservation of genetic resources. *Heredity*.
- Rick, C.M., 1987. Genetic resources in *Lycopersicon*. In: D.J. Nevins & R.A. Jones (Ed.). *Tomato biotechnology - Plant Biology*, vol. 4, pp. 17-26. Alan R. Liss, Inc., New York.
- Roberts, E.H., 1973. Predicting the viability of seeds. *Seed Sci. Technol.* 1: 499-514.
- Salhuana, W., 1989. Seed Increase and Germplasm evaluation. In: *Recent advances in the conservation and utilization of genetic resources: proceedings of the global maize germplasm workshop*, CIMMYT, Mexico: 29-38.
- Sevilla, R., W. Salhuana, J. Rubio, G. Avila, O. Paratori, F. Cardenas, L.H. Zhu, L. Pollak, A. Bejarano, M.X. Santos, C. Diaz, M. Fuentes, H. Sanchez, M. Ferrier & G. Vivo, 1994. Latin America maize project: a cooperative genetic resources evaluation project. In: *Evaluation and exploitation of genetic resources, pre-breeding. Proceedings of the genetic resources section meeting of Eucarpia*: 15-18 March 1994, pp. 289-290. F. Balfourier & M.R. Perretant, Clermont-Ferrand.
- Simmonds, N.W., 1980. Genetic conservation: the context of the workshop. In: L.A. Withers & J.T. Williams (Ed.). *Crop genetic resources the conservation of difficult material. Proceedings of an International Workshop held at the University of Reading, UK, 8-11 Sept. 1980*, I.U.B.S. Série B 42, 1-3.

- Song, W.Y., G.L. Wang, L.L. Chen, H.S. Kim, L.Y. Pi, T. Holsten, J. Gardner, B. Wang, W.X. Zhai, L.H. Zhu, C. Fauquet & P. Ronald, 1995. A receptor kinase-like protein encoded by the rice disease resistance gene, Xa21. *Science* 270: 1804-1806.
- Stanwood, P.C. & S. Sowa, 1995. Onion seed after 10 years of storage. *Crop Sci.* 35: 852-856.
- Taba, S., 1995. Maize germplasm: its spread, use, and strategies for conservation. In: S. Taba (Ed.). *Maize genetic resources. Maize Program special report*, CIMMYT, Mexico, D.F.: 7-58
- Ullstrup, A.J., 1978. Diseases of corn. In: D.B. Walden (Ed.) *Maize breeding and genetics*, pp. 391-500. Wiley and sons, New York.
- Van der Vossen, H.A.M. & D.J. Walyaro, 1981. The coffee breeding programme in Kenya: a review of progress made since 1971 and plan of action for the coming years. *Kenya coffee* 46: 113-130.
- Wing, R.A., 1995. Evaluation of the bacterial artificial chromosome cloning system for crop plants. In: ITMI Workshop, proceedings of the International Triticeae mapping initiative workshop: 1st-3rd Sept. 1995, JIC, Norwich.
- Woo, S.S., J. Jiang, B.S. Gill, A.H. Paterson & R.A. Wing, 1994. Construction and characterization of a bacterial artificial chromosome library of *Sorghum bicolor*. *Nucleic Acids Res.* 22: 4922-4931.
- Worede, M. & H. Mekbib, 1993. Linking genetic resource conservation to farmers in Ethiopia. In: de Boef W., K. Amanor, K. Wellard & A. Beddington (Ed.). *Cultivating knowledge: genetic diversity, farmer experimentation and crop research*, pp. 78-84. Intermediate Technology Publications, London.
- Xie, Q.J., M.C. Rush & J.H. Oard, 1995. Homozygous variation in rice somaclones: nonrandom variation instead of mitotic recombination. *Crop Sci.* 35: 954-957.

CARACTERISATION DU SORGHO PLUVIAL, (*SORGHUM BICOLOR* (L.) MOENCH.), DE LA ZONE SOUDANIENNE DU TCHAD

Yagoua N.D.

CIRAD-CA, Tchad

RESUME

Le sorgho est la principale céréale alimentaire des populations du Tchad. Les introductions de variétés améliorées n'ayant pas permis de lever les contraintes de production (agro-climatiques, phytosanitaires...), il est apparu nécessaire d'engager un programme d'exploitation des potentialités des cultivars locaux, s'appuyant sur une meilleure connaissance de ces derniers.

L'examen taxo-génétique des populations collectées a montré que dans la zone soudanienne du Tchad sont représentés les 2/3 des races (Harlan et de Wet, 1972) de sorgho cultivé, à l'exception des types kafir. Les races les plus fréquentes sont les hybrides guinea-caudatum, durra-caudatum et guinea-bicolor. Les populations les plus productives sont les composites à dominante caudatum, les populations fixées hybrides durra-caudatum, guinea-caudatum ainsi que les populations composites où ces hybrides sont dominants. Les sorghos les plus appréciés à la cuisson et au goût sont de moins en moins cultivés du fait de la longueur de leur cycle et de leur sensibilité au striga. Dans ce processus de marginalisation, la race caudatum semble jouer le rôle de tampon en maintenant en survie d'autres races plus sensibles, par le biais des hybrides biraciaux qu'elle constitue avec ces dernières. Par ailleurs, des sources potentielles de résistance ou de tolérance au striga et à la cécidomyie ont été identifiées.

La zone soudanienne du Tchad apparaît comme un pôle de diversification des sorghos en Afrique. L'érosion génétique relevée au bout des trente dernières années rend nécessaire et urgente la sauvegarde du patrimoine génétique que ce pôle recèle. Les axes d'un programme d'amélioration des sorghos pour la zone soudanienne sont tracés.

Mots clés : Tchad, zone soudanienne, *Sorghum bicolor*, taxonomie, génétique, Harlan et de Wet, ressources génétiques, érosion génétique, productivité, striga, cécidomyie

INTRODUCTION

Le sorgho est la principale céréale alimentaire des populations tchadiennes. Il représente 56% de la production en grain au niveau de la zone soudanienne et 45% au plan national. Il est cultivé entre les isohyètes 1 500 et 500 mm. Son rendement moyen est estimé à 500 kg/ha. Les performances des cultivars locaux se sont montrées faibles, particulièrement pendant les dernières décennies de sécheresse en zone soudano-sahélienne. De ce fait, l'option a été prise en 1983 d'expérimenter des variétés améliorées d'introduction aux fins de vulgarisation. Ces dernières se sont montrées sensibles au striga (*Striga hermonthica* (Del.) Benth.). De cycle court et de grain blanc, elles sont plus sensibles aux moisissures du grain que les cultivars locaux. Elles sont de plus exposées aux dégâts des oiseaux granivores. Ces faibles performances nous ont amenés à nous orienter vers l'exploitation des potentialités des écotypes locaux après caractérisation et évaluation.

Les premiers travaux de caractérisation des sorghos au Tchad ont été faits par Niqueux (1954-1955) et Bezot à partir de 1960. En fonction des critères de Snowden, Niqueux a classé les sorghos pluviaux en cinq types :

- *Sorghum elegans*, sous-série bicoloria ; la tige est souple, ployée à maturité, la panicule occupant alors une position renversée ; la panicule est lâche, le rachis court et se ramifiant (ombelle) ; le grain en position normale par rapport aux glumes, de couleur blanche ou rouge et sans couche brune ; le cycle est moyen à tardif, pouvant atteindre huit mois ;
- *Sorghum membranaceum*, sous-série nervosa ; panicule mi-lâche, rachis non divisé, glumes papyracées, grain sans couche brune ; considérés comme les meilleurs sur le plan alimentaire ;

- *Sorghum notabile*, sous-série bicoloria ; de même allure que *S. elegans*, rachis long ; grain se terminant en pointe, à couche brune et farineux ; qualité alimentaire inférieure à celle des *S. elegans* ;
- *Sorghum guineense*, sous-série guineensia ; panicule demi-lâche, branches non retombantes ; grain aplati, en biais par rapport aux glumes, vitreux, de couleur blanche ou rougeâtre ; cycle de cinq mois ;
- *Sorghum caudatum*, sous-série caffra ; panicule dense, très diversement colorée.

Bezot, en 1962-1963, a notamment étudié le cycle des sorghos locaux en relation avec la photosensibilité. Il a montré que les variétés hâtives (*caudatum*) étaient peu sensibles à la photopériode ; par contre chez les variétés tardives (*S. guineense*, *S. elegans*, *S. membranaceum*), les cycles se raccourcissaient pour des semis d'avril à septembre et devenaient très long pour des semis de décembre à mars.

Le présent document fait le point de la caractérisation taxo-génétique, agronomique de l'ensemble du matériel végétal collecté en 1988 et de l'évaluation phytosanitaire d'une partie de ce matériel.

MATERIEL ET METHODES

La prospection et la collecte des populations de sorgho ont été faites en 1987-1988. La tranche géographique concernée correspond au réseau conjoint ONDR¹/IRCT² de Prévulgarisation et d'Expérimentation en milieu paysan. Ce réseau s'étend d'ouest en est de la zone soudanienne.

L'ensemble de la collection a été mise en parcelles d'observation au cours de la campagne 1988-1989, sur la Station de Bébédjia. Chaque panicule collectée a été semée en parcelle élémentaire de deux lignes de 26 plants. Les écartements au semis ont été de 0,80 m x 0,40 m et les poquets démarisés à un plant trois semaines après le semis. Une fumure d'engrais complexe (NPKSB 19.12.19.5.1) a été apportée au semis à raison de 100 kg/ha. En raison d'attaques massives de chenilles de *Spodoptera exempta* survenues quatre semaines après le semis, une protection a dû être assurée à base de deltaméthrine à la dose de 12,5 g.ma/ha.

La classification taxonomique des panicules collectées s'est faite en fonction des critères de Harlan et de Wet (1972). Les caractéristiques de la panicule (forme et compacité) ont permis de compléter cette classification. Les cycles semis-floraison ont été observés au champ. Le poids moyen de grain par panicule a été calculé à partir d'un échantillon de dix panicules principales provenant de dix poquets successifs par parcelle élémentaire.

L'évaluation phytosanitaire a été réalisée en 1989-90 à partir d'une collection multilocale de comportement de 210 écotypes. Ces écotypes ont été choisis à l'issue de la campagne précédente, sur la base de leur productivité paniculaire en grain (> 75 g). Les sites d'implantation ont été Karoual, Déli, Bébédjia, Békamba et Moussafoyo. La parcelle élémentaire était de trois lignes de 25 poquets démarisés à un plant, aux écartements de 0,80 m x 0,40 m. Aucune fertilisation n'a été apportée. A Karoual, la collection a dû être traitée contre des attaques importantes de *Atherigona soccata* (Rond.). L'implantation de Déli a dû être abandonnée à cause d'une très mauvaise levée. Les observations retenues pour l'analyse ont été :

- le nombre de plants de striga (NPS) sur dix poquets successifs de la ligne centrale,
- le nombre de plants de sorgho présentant les symptômes d'attaque du striga (INS) sur la parcelle élémentaire,
- le nombre de panicules principales attaquées par la cécidomyie (Ce) sur les trois lignes,
- le poids moyen de grain par panicule, à partir d'un échantillon de dix panicules principales (PG).

Les données sur le striga et la cécidomyie ont été transformées en $\log(1+x)$, x étant :

- le nombre de plants de striga,
- le pourcentage de plants de sorgho ayant les symptômes du striga ou de la cécidomyie.

La variable à expliquer a été le poids moyen de grain par panicule. L'analyse a été faite par la méthode de régression multiple.

¹ ONDR : Office National de Développement Rural

² IRCT : Institut de Recherche sur le Coton et les Textiles exotiques

RESULTATS

1. Caractérisation

76 populations, représentées par 4 416 panicules ont été collectées. L'examen taxonomique de l'ensemble des panicules a montré que :

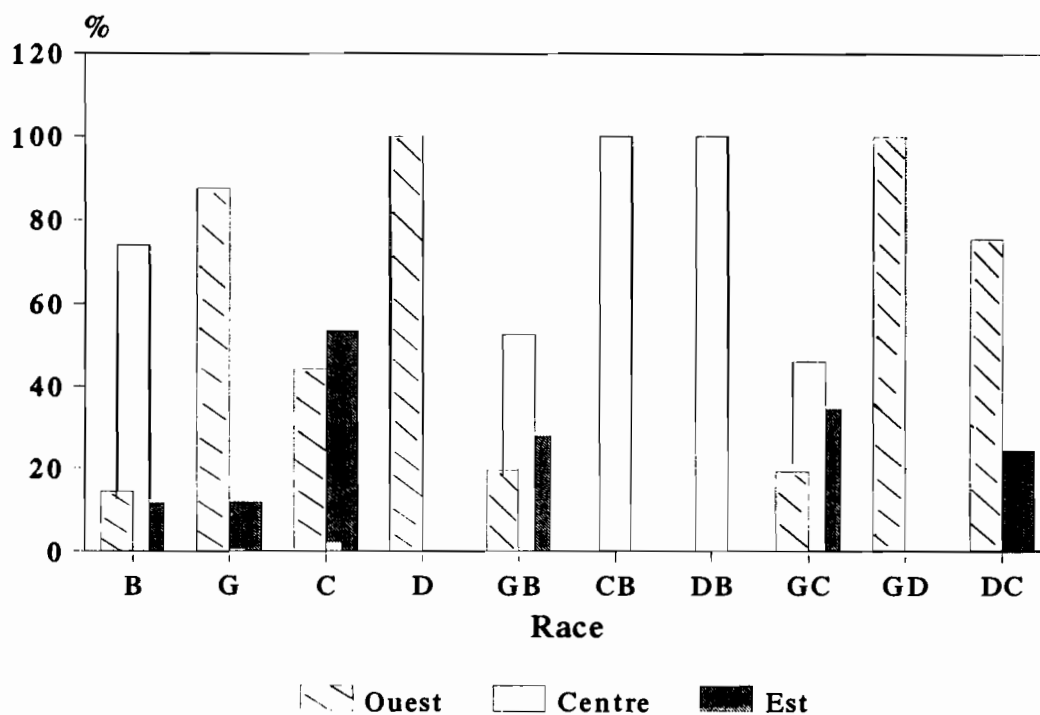
- 10 des 15 races (Harlan et de Wet, 1972) sont représentées,
- la race kafir et celles qui lui sont apparentées n'ont pas été rencontrées,
- les types hybrides biraciaux constituent les 3/4 du pool ; ceux les plus fréquents sont de races guinea-caudatum, durra-caudatum et guineabicolor.

La distribution des races (figure 1) à l'intérieur de la zone a fait ressortir :

- une spécialisation des régions :
 - les types guinea, durra et guinea-durra à l'ouest,
 - les types bicolor et leurs hybrides au centre,
 - le type caudatum à l'ouest et à l'est.

une plus grande diversité à l'ouest par rapport au centre et à l'est.

Figures 1 : Faciès (%) des races en fonction des régions.



Abréviations	
B : Bicolor	G : Guinea
C : Caudatum	GB : Guinea-bicolor
CB : Caudatum-bicolor	GC : Guinea-caudatum
cB : composite à dominance bicolor	GD : Guinea- durra
cGB : composite à dominance guinea-bicolor	Pch : population composite à dominance hybride
D : Durra	Pcp : population composite à dominance pur
DB : Durra-bicolor	Pfh : population fixée de type hybride
DC : Durra-caudatum	Pfp : population fixée de type pure

Figure 2 : Faciès (%) des types variétaux des populations en fonction des races.

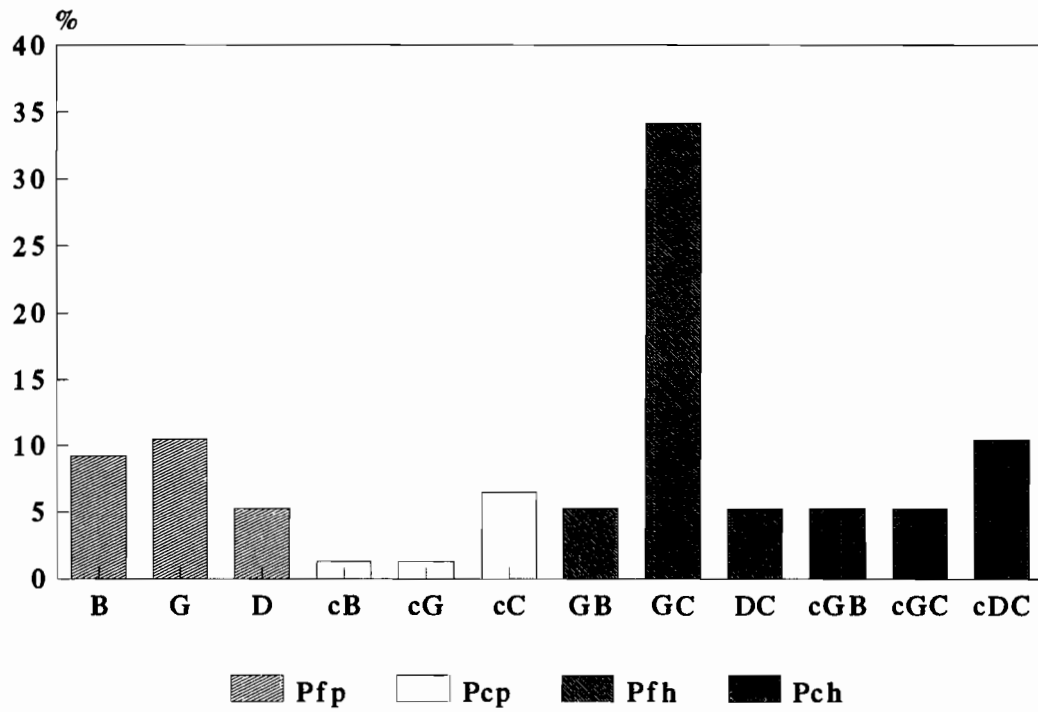
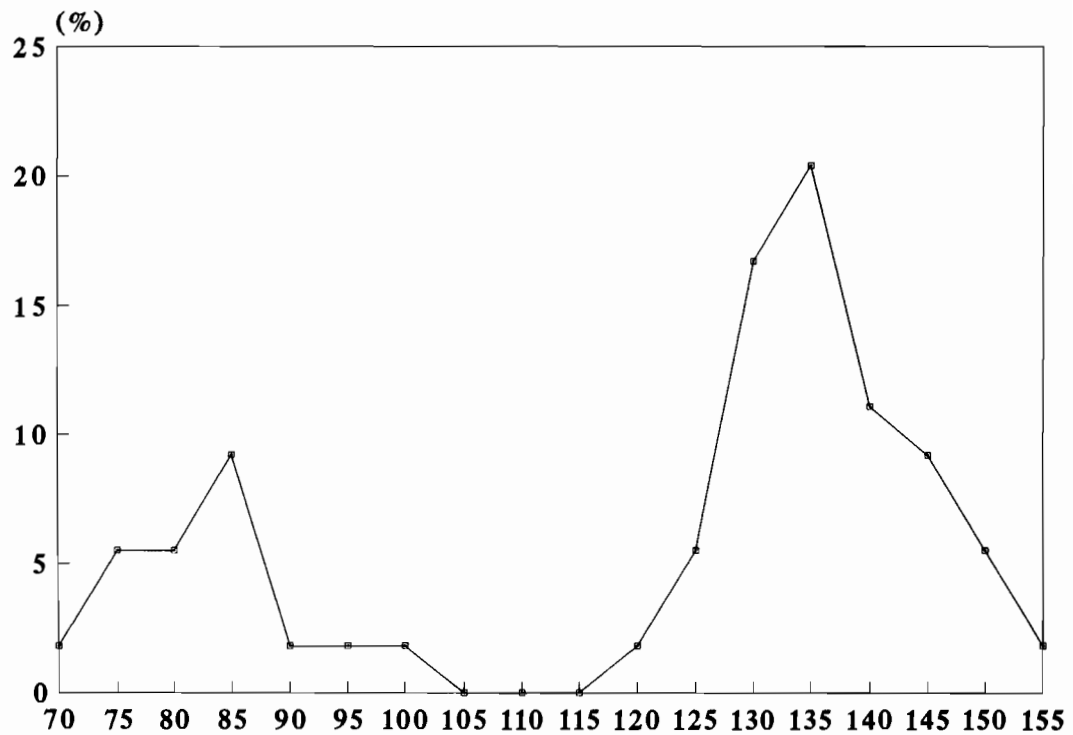


Figure 3 : Pourcentage des cycles semis-floraison (jour) de 76 populations.



L'examen du faciès taxo-génétique des populations (figure 2) a montré que :

- 65% sont fixés de types hybrides biraciaux ou composites à dominante hybride biracial et 35% fixés de types purs ou composites à dominante pure,
- les types hybrides fixés sont à majorité de race guinea-caudatum,
- les types composites à dominante hybride sont en majorité de race durra-caudatum,
- les types composites à dominante pure sont constitués surtout de caudatum,
- les populations fixées de type caudatum n'ont pas été rencontrées.

L'examen taxonomique des populations connues depuis les trente dernières années a fait ressortir le gradient de marginalisation suivant :

- les types durra et guinea-durra sont de moins en moins cultivés,
- 40% des types guinea, bicolor et guinea-bicolor sont marginalisés,
- 20% des types guinea-caudatum se sont révélés peu compétitifs,
- 10% des types durra-caudatum sont en train de disparaître.

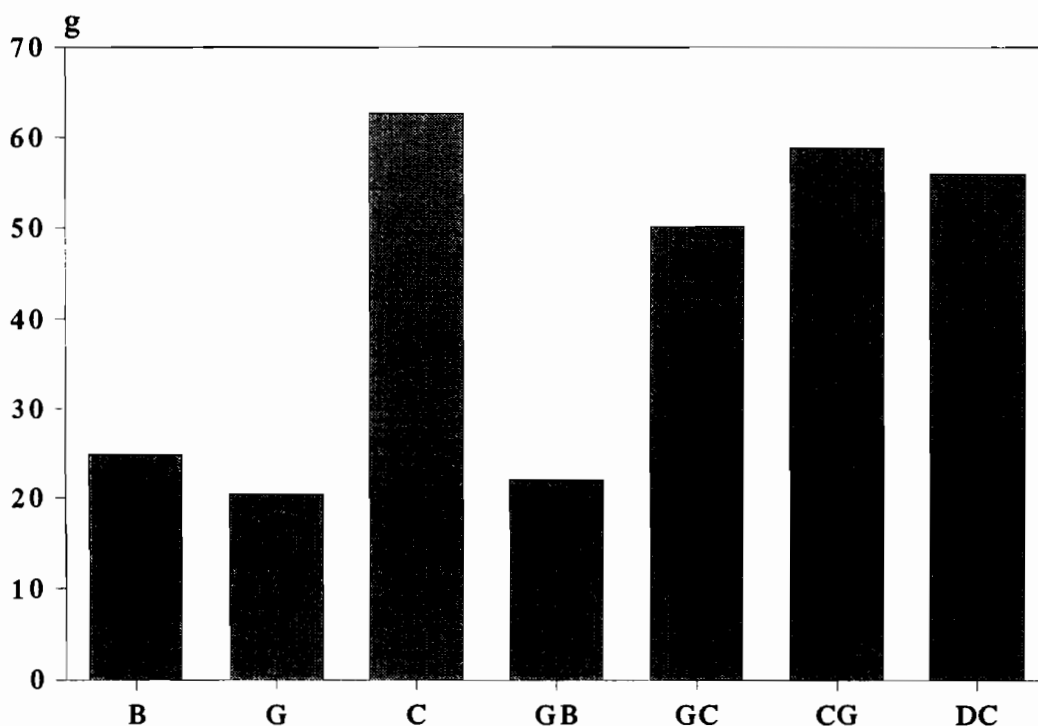
Au plan du cycle végétatif (figure 3), l'examen des populations collectées a mis en évidence la situation suivante :

- un premier groupe de précocité de 70 à 105 jours,
- un second groupe de précocité de 115 à 155 jours,
- la quasi inexistence du groupe de précocité intermédiaire (105 à 115 jours).

Concernant le potentiel de production en grain des populations (figure 4), deux catégories se sont distinguées :

- celle la plus productive constituée de populations de types caudatum, guinea-caudatum et durra-caudatum,
- celle la moins productive regroupant les populations de types guinea, bicolor et guinea-bicolor.

Figure 4 : Poids moyen (gramme) de grain par panicule en fonction de la race.

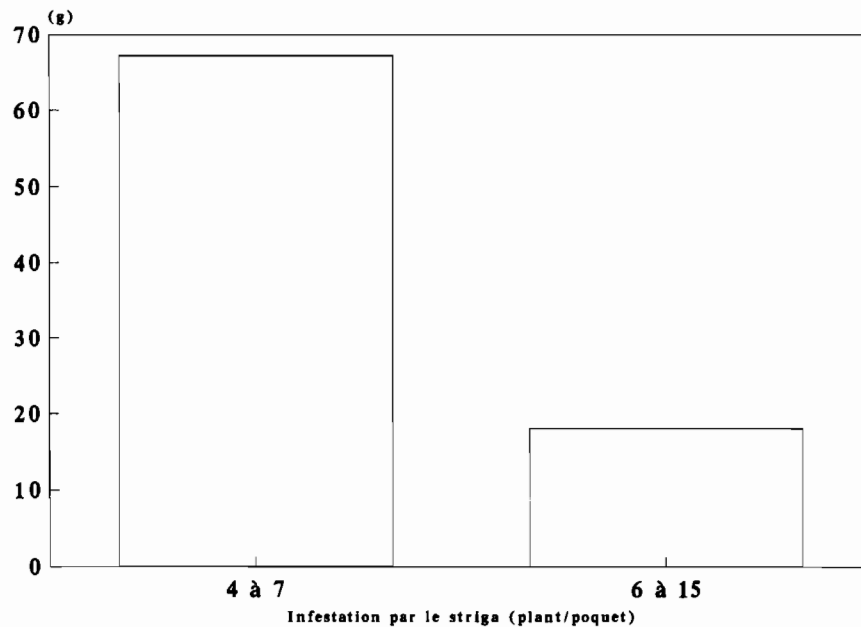


2. Evaluation phytosanitaire

L'évaluation multilocale de 210 écotypes a permis de quantifier les pertes de production en grain dues au striga (*Striga hermonthica* (Del.) Benth.) et à la cécidomyie (*Contarinia sorghicola* (Coq.)). Elles varient respectivement de 28,9 à 97,1% et de 16,8 à 76,9%. Elle a également permis de distinguer deux catégories d'écotypes face au striga d'une part, à la cécidomyie d'autre part :

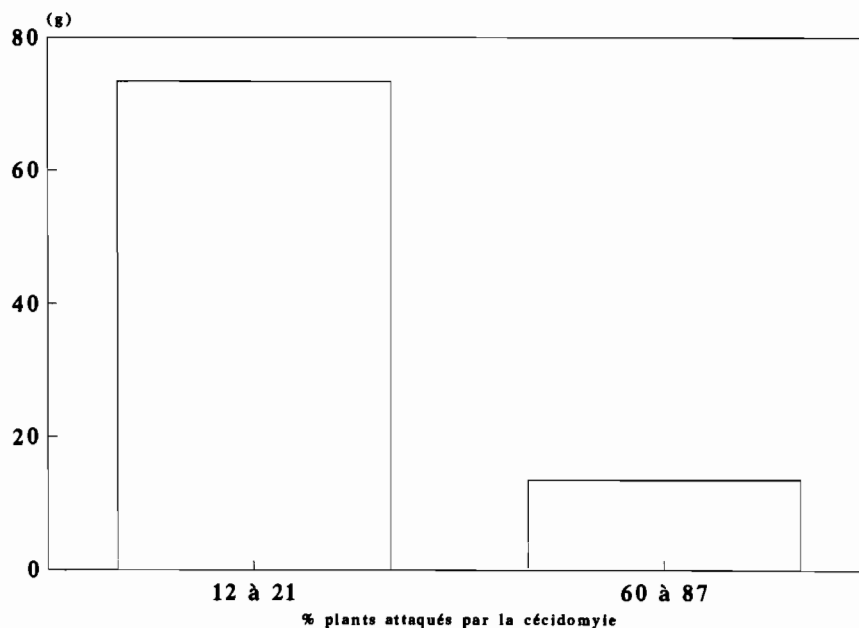
- face au striga (figure 5), la première catégorie présente un faible taux d'infestation du parasite (4 à 7 plants par poquet) avec un poids de grain de 65 à 70 g par panicule alors que la seconde catégorie, plus infestée par le phanérogame (6 à 15 plants par poquet), affiche moins de 20 g de grain par panicule.

Figure 5 : Poids moyen de grain sorgho par panicule.



- face au moucheron de la panicule (figure 6), le groupe le moins attaqué (12 à 21% de plants attaqués) produit environ 75 g de grain alors que celui le plus attaqué (60 à 87% de plants attaqués) produit moins de 15 g de grain par panicule.

Figure 6 : Poids moyen de grain par panicule.



La présence de quatre des cinq races fondamentales ainsi que celle de leurs hybrides montrent que la zone soudanienne est l'un des principaux centres de diversification du sorgho en Afrique. Le polymorphisme morphologique observé tant au niveau de l'épillet qu'à celui de la panicule atteste de cette diversification qui est favorisée par l'allogamie partielle de la plante (de 1 à 10%). L'absence de la race kafir ainsi que celle des races qui lui sont apparentées confirment les remarques de Harlan (1972) selon lesquelles cette race originaire du sud de l'Afrique était mal représentée au nord du continent. Sur le plan génétique, la prédominance de populations de type hybride fixé et de celles de type composite à dominante hybride montrent que l'adaptation des sorghos dans cette zone a nécessité la combinaison de caractères existants dans différentes races.

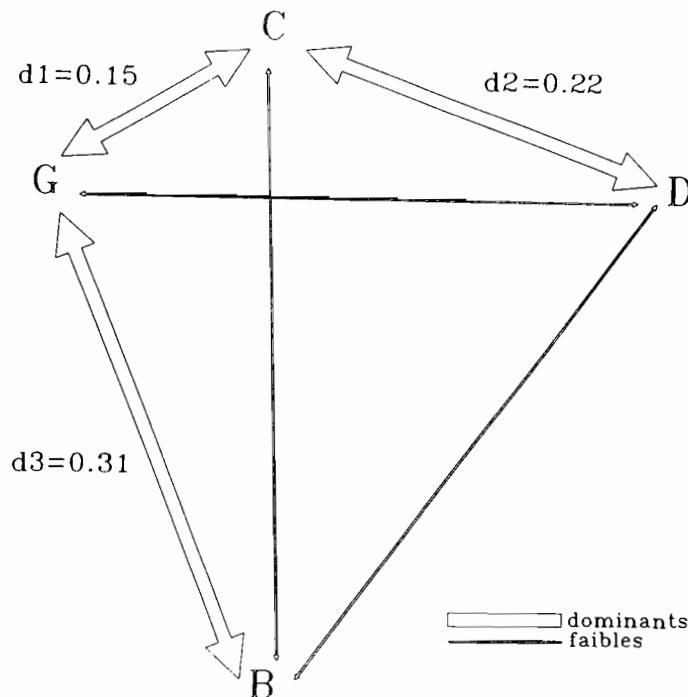
Du point de vue taxonomique, l'importance des sorghos de type guinea-caudatum, durra-caudatum et guinea-bicolor et leur distribution régionale sont en accord avec des constations antérieures et peuvent s'expliquer par des arguments botaniques, écologiques et humains :

- Harlan et de Wet (1972) ont déjà signalé que le type guinea-caudatum est le plus répandu dans les régions du Nigéria, du Tchad et du Soudan. La forte représentativité de cette race en zone soudanienne du Tchad s'explique sans doute par le fait que l'hybride guinea-caudatum est le mieux adapté aux conditions agroclimatiques actuelles de la zone. Il allie en effet la productivité de la race caudatum aux possibilités d'échapper aux moisissures du grain de la race guinea (panicule lâche, glumes plus ou moins écartées du grain). Son importance traduit dans ce contexte une bonne aptitude à la combinaison des deux races de base.
- la race durra-caudatum quant à elle associe à des caractères de productivité en grain des deux taxons de base, certaines caractéristiques de tolérance aux moisissures du grain du type caudatum (grain coloré, couche brune, moindre compacité de panicule) et de résistance à la sécheresse du type durra. Etant donné la faible représentativité (1,2%) de la race durra dans le pool des races pures, la fréquence élevée des types durra-caudatum (26,7%) traduit également sa bonne aptitude à la combinaison au type caudatum. La présence exclusive du type durra-caudatum dans les régions de l'ouest et du nord-est de la zone semble liée aux conditions écologiques plus sèches de ces régions qui sont les habitats naturels des sorghos de races caudatum et durra.
- les sorghos de type guinea-bicolor correspondent à ceux décrits par Niqueux comme appartenant à l'espèce *S. elegans*. Ils sont appréciés pour leurs bonnes qualités culinaires et gustatives. Ils sont maintenus, soit à l'état de populations fixées, soit en fréquences majoritaires au sein de populations composites. Par ailleurs, il n'a pas été rencontré de population d'hybrides fixés de type bicolor-caudatum, ni de type bicolor-durra, ni même de population composite à dominante de ces races hybrides. Au regard des qualités culinaires et gustatives, les races bicolor et guinea présenteraient donc une bonne aptitude à la combinaison dans certaines régions de prédilection, le centre notamment où des considérations de goût ainsi que les conditions pluviométriques ont favorisé la culture des sorghos de types bicolor et guinea-bicolor. Bezot (1969) signalait que ces sorghos constituaient « la culture de base des pays du sud ». Mais contrairement à Bezot *et al.* (1965), les sorghos guinea-bicolor ont un niveau de productivité nettement inférieur à celui des sorghos de race caudatum.
- la délocalisation du type bicolor, malgré une présence majoritaire au centre de la zone (> 70%), trouverait son explication dans l'hypothèse de Harlan et de Wet (1972) selon laquelle la race bicolor se reconstituerait par introgression chaque fois que sorghos sauvages et cultivés sont en contact.

Les pourcentages des races guinea-caudatum (45,4%), durra-caudatum (20,5%) et guinea-bicolor (10,6%) dans le pool taxonomique de la collection permettent de schématiser les échanges dominants entre les quatre races de base (Figure 7).

Ces échanges ont été traduits en termes de distance adaptative (d) entre les races en présence. La distance adaptative entre deux races est représentée par le terme racine carrée de $1/p$ où p désigne le pourcentage de la race intermédiaire entre les races considérées. Cette notion intègre à la fois les effets des hybridations naturelles, des pressions de sélection naturelle et de l'homme. Elle traduit donc les échanges préférentiels entre les races en présence et est inversement proportionnelle à leur intensité.

Figure 7 : Flux géniques entre les races pures.



Ainsi, dans le contexte de la zone soudanienne du Tchad, il se dégage trois flux importants :

- Rappelons qu'aucune population fixée de race caudatum n'a été rencontrée dans la collection. Tout au plus, n'ont été rencontrées que des populations de type composite à dominante caudatum. Cela signifierait que le type caudatum à lui seul ne réunirait pas tous les critères actuels d'adaptation.
- L'examen du faciès de marginalisation des populations au cours du temps montre que :
 - (i) la race durra est la plus sensible parmi les races pures, suivie de la race guinea ;
 - (ii) les races hybrides durra-caudatum et guinea-caudatum résistent mieux que les autres races hybrides ; elles représentent respectivement 20,5 et 45,4% du pool taxonomique.
 - (iii) Par ailleurs, la race caudatum intervient dans plus de 85% des races hybrides biraciaux rencontrées.

Ces constatations suggèrent que la race caudatum présente des caractères indispensables à l'adaptation mais qui ne s'expriment qu'en combinaison avec d'autres génomes (effet additif et/ou d'épistasie). Tout se passe comme si la race caudatum jouait le rôle de tampon dans le processus d'érosion génétique. Par le biais de l'hybridation naturelle, la race caudatum maintient en survie les races peu compétitives. Ce faisant, cette race assure également sa propre survie.

La marginalisation de certaines populations de sorgho est due selon les paysans à deux phénomènes :

- l'inadéquation entre la longueur du cycle végétatif et la durée de la saison des pluies,
- la sensibilité au striga, lequel s'est développé avec le « refroidissement de la terre ».

L'évaluation des sorghos marginalisés par rapport au striga n'a pas été faite. Par contre l'observation de leur cycle semis-épiaison a montré que ceux-ci étaient généralement supérieurs à 130 jours. Certains correspondent aux sorghos fleurissant en cent vingt jours pour des semis de début juillet (Niqueux, 1955). Ils sont les plus appréciés au point de vue alimentaire.

L'examen de la collection de sorgho faite par l'ICRISAT en 1981 dans la savane soudanienne du Nigéria montre une fois de plus le rôle de l'écologie ainsi que celui de la sélection humaine dans la détermination des faciès taxogénétiques caractéristiques d'une aire de culture donnée. Trois populations de sorgho les plus importantes ont été caractérisées : les « kaura », les « farafara » et les « guinea ». Au plan taxo-génétique, sept des quinze races (Harlan et de Wet, 1972) étaient représentées. Parmi elles, la race guinea (40,2%) était la plus fréquente. Les races caudatum et durra totalisaient respectivement 4,7 et 1,2%, alors que l'hybride durra-caudatum comptait 26%. La race intermédiaire guinea-caudatum ne représentait que 21,9%, malgré la dominance d'une des deux races

constitutives, guinea. Cela montre que, chez les hybrides, les races les plus compétitives sont les races durra-caudatum et guinea-caudatum. De fait, les auteurs ont indiqué que la race durra-caudatum était pour la plupart représentée par les sorghos de type « kaura » dont les caractéristiques agronomiques sont la tolérance à la sécheresse et à *S. hermonthica* ; les sorghos « fara-fara » sont eux caractérisés par des rendements élevés et la capacité de s'adapter aux conditions de stress hydrique ; de plus ces derniers, à grain blanc, sont plus attrayants pour le consommateur.

La notion de population composite correspondrait à celle traduite par le terme de « varietal mixture » (Harlan et Martini, 1938). En effet, afin de comprendre le mécanisme de la sélection naturelle dans le processus de la domestication des plantes, ces auteurs ont conduit en culture et pendant douze ans, un mélange aliquote de 11 variétés d'orge. Deux faits marquants se sont dégagés :

- la rapidité avec laquelle une ou deux des onze variétés dominaient le mélange en certains sites et ce, dès la quatrième année de culture, alors que dans d'autres sites, les proportions entre les variétés évoluaient très lentement ;
- la concordance entre la bonne performance d'une variété et son aptitude à survivre à la compétition d'une part, celle entre la faible performance d'une variété et la facilité avec laquelle elle est éliminée du mélange d'autre part.

Dans le cas d'une population composite de sorgho, il a dû y avoir à l'origine un mélange, non aliquote, de races. Ce mélange résulterait des effets des hybridations et des ségrégations naturelles. Du fait des pressions de sélection qui ont été exercées conjointement par le milieu et par l'homme, les races les plus performantes sont devenues majoritaires, celles les moins compétitives ont été, soit éliminées, soit fortement réduites en proportion. De fait, les pourcentages des races minoritaires observés chez les composites variaient de 1 à 48%, les populations étant constituées de deux à trois races.

Quant aux cycles, les cultivars appartenant au groupe tardif sont manifestement inadaptés à la durée actuelle de la saison utile des pluies (fin mai à mi-septembre). Cultivars de plein champ, leur production constitue l'essentiel du tonnage annuel de sorgho. L'on comprend alors que l'arrêt précoce des pluies entraîne une diminution des productions de céréales dans la zone.

S'agissant des effets des parasites, les écotypes les moins infestés par le striga et ceux les moins attaqués par la cécidomyie pourraient constituer des sources de résistance ou de tolérance aux deux contraintes biotiques.

CONCLUSION

- L'importance de la zone soudanienne du Tchad en tant que centre de diversification des sorghos en Afrique fait du pays un véritable pôle en matière de ressources génétiques de cette céréale.
- L'amélioration variétale des sorghos de plein champ en zone soudanienne du Tchad devrait avoir comme points saillants :
 - (i) l'exploitation des potentialités des cultivars locaux,
 - (ii) le développement de matériel de type hybride biracial (guinea-caudatum, caudatum-guinea, durra-caudatum ou guinea-bicolor),
 - (iii) l'incorporation de la résistance au striga,
 - (iv) l'adaptation des cycles semis-floraison (90-120 jours),
 - (v) l'incorporation des bonnes qualités organoleptiques aux nouvelles variétés,
 - (vi) la sauvegarde du germplasm local (constitution de collection de travail *ex situ* et de collection de conservation *in situ*, en collaboration avec les paysans).

Bébédjia le 16/06/96

BIBLIOGRAPHIE

- Allard R. W., 1960. Principles of plant breeding. United States of America, John Wiley and Sons Inc., 485p.
- Baillargeon G. et Rainville J., 1979. Statistiques Appliquées : régression multiple, tome 3. Québec, Canada, Editions SMG, 1034p.

- Bezot P., 1959. L'amélioration des sorghos au Tchad. *Agronomie tropicale* : 985-1007
- Clinton I. Chase, 1984. Elementary statistical procedures. International Student Edition, 397p.
- Dogget., Sorghum in tropical agricultures series, 2nd Ed: 71-85, 368404
- ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics), 1981. Genetic Resources, Progress report 40. Patancheru, India, ICRISAT, 22p.
- Niqueux M., 1959. Les sorghos d'hivernage au Tchad : variétés, répartition, amélioration. *Riz et riziculture et cultures vivrières tropicales*, IRAT.
- Stalker H. T. and Chapman C., 1989. Scientific management of germplasm characterization, evaluation and enhancement. IBPGR Training Courses; lecture series 2:35-73.

GESTION DES RESSOURCES GENETIQUES DES IGNAME AFRICAINE ET CONSERVATION *IN SITU*

**Zoundjihékpou J.¹, Dansi A.², Mignouna J. H. D.³, Kouakou A. M.⁴, Zongo J. D.⁵,
N'Kpènou K. E.⁶, Sunu D.⁶, Camara F.⁷, Kourouma S.⁷, Sanou J.⁵, Sanou H.⁶, Bélem J.⁹,
Dossou R.¹⁰, Vernier P.¹¹, Dumont R.¹², Hamon P.¹² et Tio-Touré B.¹³**

1. WWF- Fonds Mondial pour la Nature, Abidjan, Côte d'Ivoire
2. Institut International d'Agriculture Tropicale, Cotonou, Bénin
3. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigéria
4. Institut des Savanes, Bouaké, Côte d'Ivoire
5. Faculté des Sciences et Techniques, Université de Ouagadougou, Burkina Faso
6. Institut National des Cultures Vivrières, Lomé, Togo
7. Centre de Recherche Agronomique, Kankan, Guinée
8. Institut d'Economie Rurale (IER), Bamako, Mali
9. Institut National d'Etude et de Recherche Agronomique, Ouagadougou, Burkina Faso
10. Institut National de Recherche Agricole, N'Dali, Bénin
11. CIRAD-IITA, Cotonou, Bénin
12. CIRAD-CA, Montpellier, France
13. UNESCO, Paris, France

INTRODUCTION

Les ignames sont des plantes alimentaires des pays tropicaux. Elles appartiennent au genre *Dioscorea* avec plus de 600 espèces dont une dizaine est cultivée. L'Afrique de l'Ouest, de la Guinée au Cameroun, constitue la zone la plus productive des ignames et le centre d'origine du complexe cultivé *Dioscorea cayenensis-rotundata*. Dans cette zone, les ignames, cultivées depuis des millénaires, ont été intégrées aux moeurs et coutumes de certains groupes ethniques ou socio-économiques d'Afrique, comme c'est également le cas en Océanie et en Amérique latine (Okigbo, 1991). De ce fait les ignames sont omniprésentes au menu de toutes les grandes cérémonies, surtout celles rituelles, et elles sont offertes aux invités de marque (Coursey, 1967 ; Gbedolo, 1991).

Malgré l'importance de ces plantes dans la vie économique, sociale et culturelle de plusieurs pays tropicaux, elles ont bénéficié de très peu d'attention de la part de la recherche scientifique qui a longtemps privilégié les cultures de rente, les céréales et les légumineuses en Afrique. Les quelques organismes nationaux et internationaux qui se sont occupés des ignames se sont souvent confrontés à des problèmes de gestion des ressources génétiques de ces plantes dont la reproduction est sexuée chez les espèces sauvages, et végétative chez celles cultivées. En Afrique, plusieurs espèces sont toujours en cours de domestication et il n'est pas du tout rare de rencontrer dans une même espèce des formes cultivées et sauvages. C'est le cas de *D. praehensilis*, *D. mangelotiana*, *D. burkilliana* en Côte d'Ivoire, au Cameroun et au Gabon (Hladik *et al.*, 1984 ; Hamon, 1987 ; Ducatillon, 1988 ; Dumont, communication personnelle).

La croissance démographique galopante, associée aux problèmes climatiques avec la modification des écosystèmes, des pratiques culturelles, notamment la réduction des périodes de jachère, ainsi que le développement des cultures de rente telles que le café et le cacao en Côte d'Ivoire, le coton au Bénin et au Mali, conduisent actuellement à des problèmes de conservation des ressources génétiques des ignames. Les collections issues de plusieurs prospections et servant de base aux activités de recherche souffrent de nombreuses pertes. Ainsi, la collection de l'Université de Cocody qui comptait plus de 1 000 accessions du complexe *D. cayenensis-rotundata* dans les années 1980 est aujourd'hui réduite à moins de 200 accessions. De même l'IITA a perdu au Nigéria plus de 50% de ses échantillons deux ans après la collecte (Communication orale de Hahn, 1993). Les collections de l'IRAT des années 1970 au Bénin et au Burkina Faso sont aujourd'hui réduites à quelques dizaines d'échantillons. La gestion actuelle des ressources génétiques, basée sur les méthodes traditionnelles de conservation *ex situ*, a montré ses limites et conduit à proposer de nouvelles stratégies basées sur la conservation *in situ*.

Notre démarche est tout-à-fait conforme à la tendance actuelle de la conservation de la nature. En effet, Hoyt (1992) indique que « la plupart des aires protégées (réserves naturelles et parcs nationaux) sont établies pour la conservation de la faune sauvage, dans certains cas pour protéger un paysage renommé, dans d'autres pour sauver un mammifère ou un oiseau rare, mais pratiquement jamais pour conserver une plante sauvage ». Au cours de la dernière décennie, sous l'influence de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) et avec le concours du Fonds Mondial pour la Nature (WWF), l'orientation pour la conservation des zones naturelles en particulier sous les tropiques a été prise. Par ailleurs, avec la signature de la Convention sur la diversité biologique à Rio en 1992 et la mise en oeuvre de cette Convention, la conservation *in situ* est à l'honneur.

LES METHODES ACTUELLES DE CONSERVATION DES RESSOURCES GENETIQUES ET LEURS LIMITES

Les méthodes traditionnelles

Les paysans ont domestiqué les ignames et ont conservé leurs ressources génétiques depuis des millénaires. Mais, non satisfaits des variétés qu'ils ont domestiquées, ils vont parfois à la recherche de variétés plus performantes. Ainsi, l'on observe un flux d'échanges de matériel végétal entre différentes régions de culture d'ignames à l'intérieur d'un même pays (entre Bondoukou et Bouaké par exemple en Côte d'Ivoire, ou entre Nattitingou et Dassa au Bénin) et quelquefois, entre pays voisins. Ainsi, l'on rencontre au Bénin des variétés venant du Nigéria, en Côte d'Ivoire des variétés du Togo, du Ghana et même du Bénin (clone Dahomey) et au Mali des variétés venant du Burkina Faso et de la Côte d'Ivoire. Trois règles essentielles constituent la base du système traditionnel de gestion des ressources génétiques des ignames (Hamon *et al.*, 1992) :

- un nombre important de variétés ont une valeur culturelle chez les africains et, malgré de nouvelles contraintes, celles-ci sont maintenues en culture ;
- la diversité des possibilités de production et de conservation des différentes variétés permettent l'étalement de la production annuelle sur une longue période pouvant aller de juillet à février, parfois avril ;
- la demande du marché favorise la prédominance d'un petit nombre de variétés dans l'agriculture.

Ainsi, les variétés sont reconduites de génération en génération. De plus, l'intervention de certaines espèces sauvages dans l'alimentation humaine (*D. praezensilis*, *D. manguotiana*, *D. burkilliana*), surtout en période de soudure ou de disette favorise encore de nos jours la poursuite de la domestication. Les variétés traditionnelles ou les clones intéressants, issus des espèces sauvages sont maintenus dans les plantations au fil des ans. Dans le passé, les variétés étaient parfaitement identifiées par les cultivateurs. Mais, de plus en plus, on constate que les paysans considèrent des ensembles de variétés plutôt que les variétés individuellement (Hamon *et al.*, 1992).

Cette pratique, liée aux modifications climatiques, à la pression démographique et à l'introduction de variétés étrangères conduit à une forte érosion génétique. Le cas le plus spectaculaire est l'introduction de la variété florido (*D. alata*) en Côte d'Ivoire dans les années 1970, suivie d'une large diffusion, conduisant à une raréfaction des variétés d'ignames traditionnelles comme Frou, Zrézrou, Waraga, Nandokaka et Krandofofu dans certaines régions (Zoundjihékon, 1988). Par ailleurs, la culture traditionnelle des ignames nécessitant le défrichement de nouvelles terres, la gestion actuelle des ressources génétiques des ignames conduit à une forte érosion génétique des autres ressources biologiques.

La conservation *in vivo*

La plupart des organismes de recherche basés dans les zones de culture des ignames (Inde, Guadeloupe, Nouvelle-Calédonie, Ghana...) conservent leur matériel végétal « au champ ». C'est le mode de conservation des ressources génétiques le plus répandu pour les ignames.

Les cultures annuelles des collections, avec la plantation en mars ou avril, suivie de la phase vivante au champ, la récolte puis la phase post-récolte, conduisent à de nombreuses pertes dont le taux varie

de 5 à 25% par an (Zoundjihékpou *et al.*, 1996). C'est le cas en Nouvelle-Calédonie, au Bénin, au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire, au Nigéria comme au Togo.

Ces pertes sont liées aux retards de plantation, aux non-levées après la plantation, aux attaques de nématodes, de viroses et d'anthracoses, qui causent de nombreuses pourritures au cours des stockages des tubercules. En effet, les problèmes phytosanitaires constituent l'un des fléaux auxquels sont confrontées les ignames. Les nombreuses pertes observées concernent à la fois les espèces cultivées et celles sauvages (Hamon *et al.*, 1995). Par ailleurs, ce mode de conservation des ressources génétiques nécessite de grands espaces et d'importants moyens financiers pour la mise en place des plantations et leur entretien. Ces contraintes ont conduit plusieurs équipes de recherche à opter pour la conservation *in vitro*.

La conservation *in vitro*

Chez les ignames, la conservation *in vitro* a été surtout développée par l'ORSTOM/IIRSDA, l'Université Nationale de Côte d'Ivoire et l'IITA au Nigéria. A côté de ces trois principales vitrothèques qui permettent d'assurer la conservation de plusieurs centaines d'accessions d'espèces cultivées et sauvages, il existe de petites vitrothèques pour les collections de travail à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux de l'Horticulture et du Paysage à Angers (France), au Laboratoire de Phytopathologie de la Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux (Belgique), à l'Institut de Recherche en Biologie Végétale (Canada), à l'Institut de Recherche agronomique de Buéa (Cameroun) et à l'Université de Nsukka (Nigéria) (Zoundjihékpou *et al.*, 1995).

Les milieux de culture généralement utilisés dérivent du milieu de base de Murashige et Skoog additionné de vitamines, d'hormones et de charbon actif pour atténuer l'effet des composés phénoliques présents dans la plante. Mais tous les génotypes mis en culture ne tubérisent pas *in vitro*. Les difficultés rencontrées dans l'utilisation de ce mode de conservation peuvent se résumer en quatre points : l'obtention d'une bonne asepsie, le brunissement du milieu de culture, la période de mise en culture et les génotypes utilisés. L'expérience a montré que le complexe *Dioscorea cayenensis-rotundata* est très difficile à multiplier ou conserver *in vitro* car certains génotypes se sont montrés récalcitrants à ce mode de culture.

Dans le prolongement de cette technique, depuis quelques années, la cryoconservation, seule technique de conservation *ex situ* à très long terme, est expérimentée sur les ignames (Trouslot et Malaurie, communication personnelle). Les méristèmes prélevés sur des vitroplants de deux génotypes de *D. alata* et *D. bulbifera* sont traités, encapsulés et conservés dans de l'azote liquide. Les premiers résultats permettent de conclure à une bonne réponse des deux génotypes. Cette technique étant associée au microbouturage *in vitro*, il y a de fortes chances qu'elle soit limitée car les vitroplants ne sont pas disponibles pour tous les génotypes d'ignames cultivées ou sauvages.

La collection pérenne

Cette expérience est en cours en Côte d'Ivoire depuis 1991, à une trentaine de kilomètres de Bouaké, sur une parcelle de trois hectares. La moitié de cette superficie est mise en valeur dans une zone boisée pour limiter l'échauffement du sol et les pertes dues à la pourriture des semences. Les échantillons mis en place ne sont pas récoltés depuis le début de l'expérience.

Cette pratique limite les pertes liées aux non-levées annuelles et aux stockages post-récoltes. Malgré cela, cette collection n'est pas à l'abri des pertes, car après cinq années d'expérience, l'on a déjà observé près de 90% d'échantillons disparus. De ce fait, même si cette méthode se rapproche de la conservation *in situ*, le résultat n'est pas meilleur qu'avec les autres méthodes de conservation actuellement utilisées.

STRATEGIE DE CONSERVATION *IN SITU* DES IGNAME AFRICAINES

Contexte général

Dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique, la conservation *in situ* fait l'objet de l'article 8. A l'instar de toute la Convention, il n'a pas été fait mention de l'agriculture mais il est

généralement admis que la diversité biologique agricole fait partie intégrante de la diversité biologique. A ce titre, la conservation *in situ* des ressources génétiques des ignames sont tout aussi concernées par cette Convention que les autres composantes de la biodiversité et devrait retenir l'attention des décideurs dans le cadre de la mise en oeuvre de la Convention. En dehors de l'article 8 (conservation *in situ*), d'autres articles sont également concernés par les approches ici proposées pour la conservation des ressources génétiques des ignames. Il s'agit :

- des articles 10 et 16 concernant les connaissances traditionnelles et autochtones dans le domaine de la conservation des ressources biologiques. En effet, si les ignames ont été domestiquées et conservées depuis des millénaires jusqu'à nos jours, des pratiques et des savoirs ancestraux y demeurent attachés. La fête des ignames en est un exemple ;
- de l'article 11, avec la prise de dispositions socialement et économiquement rationnelles pour la gestion durable des ressources biologiques qui devraient concerner également les ignames.

La conservation à la ferme

Depuis quelques années, la conservation à la ferme (ou chez les paysans) est à l'ordre du jour, même si, en Afrique de l'Ouest, elle n'a pas encore droit de cité. Ce mode de conservation permet de maintenir dans des jardins, des espèces cultivées et leurs ancêtres. On peut citer des exemples au Mexique et à Veracruz où des chercheurs et les populations locales ont fait l'effort de développer des systèmes traditionnels de cultures d'espèces variées en utilisant des déchets organiques. En Afrique de l'Est, quelques cas de conservation à la ferme sont connus et pourraient servir de modèle pour les ignames. Il restera aux chercheurs de s'associer aux paysans pour la mise en valeur de leurs pratiques traditionnelles des ressources génétiques (Zoundjihékon, 1994). Des enquêtes préliminaires devraient permettre de déterminer les conditions de réalisation de cette conservation à la ferme.

Les zones protégées, autre alternative pour la conservation des ignames

L'aménagement de zones protégées d'ignames dans les écosystèmes et habitats naturels de ces plantes, en association avec les paysans, pourrait permettre de limiter au maximum les pertes et d'utiliser les connaissances, les pratiques et le savoir-faire des agriculteurs et agricultrices pour gérer de façon durable la variabilité de ces plantes dont l'importance n'est plus à démontrer en Afrique (Zoundjihékon, 1994). Proposer des zones protégées pour des plantes cultivées pourrait paraître incongru ; mais, avec Hoyt 1992, puis Makinon *et al.*, 1994, nous pensons que les ignames possèdent bien les caractéristiques nécessaires pour se prêter à la création de « réservoirs génétiques » ou de « banques génétiques *in situ* : cette nouvelle catégorie d'aires protégées ».

Les espèces d'ignames sauvages, ainsi que les variétés des espèces cultivées, diffèrent d'une région à une autre dans un même pays, ainsi que d'un pays à un autre. On pourrait envisager d'installer deux à quatre zones avec un statut particulier de protection des ignames dans chaque pays appartenant à la « ceinture de l'igname » en Afrique, de la Guinée au Cameroun, voire en République Centrafricaine ou au Zaïre. Le choix des zones à protéger sera basé sur la diversité génétique qui y est observée. Une zone donnée devra regrouper le maximum de variabilité de la région. De même, la zone devra contenir, à la fois, des espèces cultivées et des espèces sauvages, ces dernières constituant des réservoirs de gènes souvent négligés.

Connaissant les difficultés actuelles des aires protégées d'une façon générale en Afrique, dans les zones où les conditions le permettent, les zones protégées d'ignames pourraient être identifiées à la périphérie d'autres aires protégées déjà existantes pour réduire les charges liées à ce mode de conservation. Nous pouvons donner l'exemple du Parc National de la Comoé, situé dans l'une des grandes zones de culture et de variabilité d'ignames en Côte d'Ivoire. Les parcs nationaux et réserves ne pourront, bien entendu, jouer qu'un rôle de stricte conservation des espèces sauvages. Mais ils pourraient fournir les ressources nécessaires à la création, à leur périphérie, de réservoirs génétiques, à la fois pour les espèces sauvages et cultivées. Ces centres auraient pour vocation (1) de protéger les espèces et variétés existantes (2) de perpétuer les modes traditionnels de gestion des ignames et (3) de jouer un rôle de laboratoire permettant d'améliorer le matériel végétal ainsi que les techniques de production, d'utilisation et de conservation ; le but ultime étant l'exploitation rationnelle et durable des ignames.

Cette stratégie devrait être mise en place en étroite collaboration avec les paysan(ne)s de la région. En effet, il n'est un secret pour personne que les paysannes et paysans africains ont domestiqué plusieurs espèces d'ignames alimentaires (Burkill, 1939 ; Miège, 1952 ; Coursey, 1967) et continuent à le faire. Ils les ont conservées pendant des millénaires et les ont transmises de génération en génération. Leur participation à l'aménagement et la gestion des zones protégées d'ignames ne fera que valoriser les connaissances traditionnelles si longtemps négligées. Cette approche, pour cette plante, devrait être favorisée par le contexte international actuel qui tend à associer de plus en plus étroitement les populations locales à la protection et à la gestion de la nature et de ses ressources. De même, les associations de développement, ainsi que les ONG spécialisées dans la conservation de la nature ou les activités de développement devraient être associées à l'aménagement et à la gestion des zones protégées des ignames.

La recherche scientifique devrait constituer l'une des principales activités dans ces aires protégées. Si l'inventaire et la caractérisation des ignames de certains pays comme le Nigéria, la Côte d'Ivoire, le Ghana et le Togo sont assez avancés, dans d'autres pays comme le Bénin, la Guinée ou le Burkina Faso ces activités viennent de démarrer et, ailleurs comme au Mali, elles n'existent pas encore.

Si les espèces sauvages ne demandent pas de précautions particulières compte tenu de leur protection au sein des parcs nationaux et réserves, celles cultivées exigent la mise en place d'une stratégie spécifique. Pour encourager les paysans à adhérer à ce mode de conservation des ressources génétiques, les ignames cultivées devraient faire l'objet de plantation et de récolte différenciées, selon qu'il s'agit de variétés à une récolte ou à deux récoltes.

Ainsi, les variétés précoces à deux récoltes seront plantées selon une périodicité à déterminer (cinq, dix ou quinze ans). Seule la première récolte sera effectuée par et pour les paysans ; la deuxième récolte, qui devra servir de semencé, ne sera pas faite. En ce qui concerne les variétés tardives à une récolte, deux choix seront possibles : ou bien elles resteront en place sans être récoltées durant le cycle choisi pour la récolte des variétés précoces (cinq, dix ou quinze ans), ou bien elles seront récoltées annuellement comme cela se pratique dans les champs classiques. Cette dernière alternative permettra aux paysans de tirer profit de leurs travaux.

Propositions de sites de zones protégées d'ignames en Afrique de l'Ouest

Pour la mise en oeuvre de la stratégie de conservation *in situ* par des zones protégées en Afrique de l'Ouest, les observations et résultats d'études antérieures devraient être utilisés pour le choix des sites. Sur cette base, des propositions pourraient être faites dans chaque pays en associant la répartition des principales zones nationales de culture d'ignames à la méthode biogéographique proposée par l'UICN (1980) dans le contexte de la « Stratégie mondiale de la conservation ». Dans tous les cas, le choix des sites, l'aménagement et la gestion de ces zones protégées nécessiteront la constitution préalable d'une équipe pluridisciplinaire régionale, puis nationale avec des sociologues, des écologues, des agro-économistes et des généticiens.

Dans l'état actuel de nos connaissances, au Bénin, trois sites peuvent être établis :

- dans le Zou, entre Dassa-Savalou-Banté et Savé ; il serait alors possible de regrouper en une seule zone protégée les trois petites aires existant actuellement (Dassa-Zoumè, Logozohé et Savalou) et d'y faire une place appréciable aux ignames ; on pourrait aussi considérer la région de Djidja à l'ouest de la rivière Dra ;
- dans l'Atacora, autour de Nattitingou ou autour du Parc national de la Pendjari ;
- dans le Borgou, entre Sonoumon et N'Dali pour sa bonne diversité génétique et son exclusion antérieure des circuits commerciaux.

En dehors de ces trois principaux sites, des zones déjà protégées comme la forêt de Pobè, les Monts Kouffè, Ouari-Marô et l'Ouémé supérieur pourront également apporter leur concours. Ce travail devrait bénéficier de la bonne structuration des paysans béninois. En effet, dans chaque village au Bénin, il existe une association de paysans dénommée « Groupement villageois ou GV » encadré par un technicien de l'agriculture qui connaît bien les réalités des villages concernés.

Au Burkina Faso, les prospections et collectes initiées par l'IRAT dans les années 1975 (Dumont, 1979) et interrompues par la suite, viennent de redémarrer. Il va falloir attendre les résultats de Sanou (Université de Ouagadougou) pour estimer l'état actuel de la diversité génétique au sein des ignames

dans ce pays et choisir des sites de conservation *in situ* en toute connaissance de cause. Néanmoins, avec les travaux de Dumont et Hamon (1985), Somé *et al.*, (1995), Goudou-Urbino (1995) et Sanou (non encore publié), un site devrait être érigé autour de la plaine de Pilimpikou et d'autres sites dans la région de Léo et Mangodara au sud du pays, Ndolola à l'ouest de Pama dans le sud-est.

Mais dans ce pays, le contexte général propice à la conservation *in situ* des ressources phytogénétiques d'une façon générale devrait favoriser la mise en place rapide de notre stratégie. En effet, l'Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI) a inclus le Burkina Faso dans son projet de collaboration mondiale pour le renforcement de la base scientifique dans le domaine de la conservation *in situ* de la biodiversité agricole, en collaboration avec l'Institut de l'Environnement et de la Recherche agricole et l'Université de Ouagadougou (Balma *et al.*, 1996).

En Côte d'Ivoire, la région entre Bouna, Bondoukou et Tanda pourrait être retenue, malgré l'irrégularité des pluies qu'on y observe et le problème foncier qui existe entre Koulango et Abron, propriétaires terriens, et les Lobi utilisés comme main d'oeuvre (Zoundjihékpon *et al.*, 1996). Les Groupements à Vocation Coopérative de la région, ainsi que la présence du Parc national de la Comoé devraient aider au choix du site à retenir dans cette région de la Côte d'Ivoire. Dans ce pays, deux autres sites pourraient être mis en place dans la région de Dikodougou au Centre et un autre à l'ouest du pays.

En Guinée, un site devrait être identifié dans chacune des quatre régions naturelles du pays : Moyenne Guinée, Haute Guinée, Guinée Forestière et Guinée Maritime. Au Mali, la région de Sikasso et plus précisément les cercles de Sikasso, Bougouni et Yanfolila sont riches en diverses formes d'ignames et devraient être protégées. Au Togo, les travaux de Kassamada (1992), de Seniou (1993) et de Kpènu (non publié) permettent de proposer trois sites situés dans trois zones écologiques différentes, pour la conservation *in situ* :

- la zone du littoral,
- la zone forestière,
- la zone de savane humide.

Dans ces pays, des études complémentaires sont nécessaires.

CONCLUSION

Les méthodes actuelles de gestion des ressources génétiques des ignames ont toutes montré leurs limites. Les collections *in vivo* ou celles pérennes conduisent à de nombreuses pertes. La conservation *in vitro*, malgré quelques contraintes techniques, permet une meilleure conservation des ressources génétiques, mais elle n'est pas à la portée de toutes les équipes et ne couvre pas non plus tous les génotypes.

La conservation *in situ*, avec la mise en place de zones protégées pour les ignames cultivées et sauvages, se présente alors comme la seule alternative à l'heure actuelle pour une meilleure conservation des ressources génétiques des ignames. Celle-ci doit être précédée de la mise en place d'une équipe pluridisciplinaire sous-régionale chargée de conduire une enquête préliminaire pour une meilleure identification des zones à protéger.

Les travaux antérieurs de caractérisation des ignames en Afrique de l'Ouest ayant indiqué que certaines variétés sont spécifiques aux régions d'un pays et à certains pays, plusieurs sites seront aménagés dans un même pays. Ce travail, qui pourrait démarrer par la Côte d'Ivoire et le Bénin grâce aux travaux qui y sont déjà effectués, pourrait rapidement associer le Togo et le Burkina Faso, en raison des travaux en cours pour le premier, et, pour le second, à cause du projet international de conservation *in situ* de l'agrobiodiversité dans lequel il s'insère. L'implication des paysan(ne)s dans l'aménagement et la gestion de ces zones protégées devrait contribuer à renforcer la culture des communautés autochtones, pour promouvoir la conservation *in situ* de la diversité biologique comme le recommande la dernière réunion de l'organe subsidiaire de la Convention sur la diversité biologique (SBSTTA2).

Ces zones protégées d'ignames pourraient, dans les régions où les conditions sont réunies, s'insérer dans des aires protégées déjà existantes, avec des dispositions particulières pour permettre aux paysans de récolter de façon sélective les ignames cultivées se trouvant à la périphérie de ces aires protégées. Mais le succès de cette nouvelle proposition de gestion des ressources génétiques des

ignames dépend d'une part de la création d'un réseau, ou tout au moins d'une équipe pluridisciplinaire dans la sous-région, et d'autre part, d'une réelle volonté politique pour favoriser les actions sous-régionales en matière de gestion participative des aires protégées. Pour la mise en place des zones protégées des ignames, l'on pourrait prendre exemple sur les expériences analogues en cours en Allemagne, au Sri Lanka, au Mexique, au Brésil et en Ethiopie (UNEP/CBD/COP/3/14).

Etant donné l'intérêt croissant accordé à la conservation *in situ* par les institutions internationales spécialisées comme l'UNESCO avec son programme sur l'Homme et la Biosphère (MAB), la FAO et l'Institut international sur les ressources phytogénétiques (IPGRI), la place importante occupée par les ignames dans l'alimentation et la vie socio-culturelle de nombreuses populations et, enfin, les menaces qui pèsent sur l'avenir des ressources génétiques des ignames, il devrait se dégager un consensus général autour de cette question. Mais, les objectifs visés ne seront atteints que si, et seulement si, les volontés nationales existent. Et la mise en oeuvre de la Convention sur la diversité biologique, ratifiée par la presque totalité des pays africains pour qui la culture des ignames est importante, offre avec son article 8, un cadre adapté à la mise en application des approches qui viennent d'être proposées pour la conservation *in situ* des ressources génétiques des ignames.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'Association des Universités Partiellement ou Entièrement de Langue Française (AUPELF-UREF), pour la bourse qui a permis de maintenir le contact entre eux au cours de ces deux dernières années.

BIBLIOGRAPHIE

- Balma D., Bognounou O. et Zangre G., 1996. Gestion en milieu paysan des ressources phytogénétiques agricoles locales ; une alternative à la conservation *in situ* pour une plus grande sécurité alimentaire. Séminaire sous-régional sur « la biodiversité, les ressources phytogénétiques et la sécurité alimentaire locale ». ENDA Tiers Monde, Ouagadougou, du 16 au 21 décembre 1996 : 14 p.
- Burkhill I. H., 1939. Notes on the genus *Dioscorea* in the Belgian Congo. Bull. Jard. Bot. Eta Brux., 15 : 345-392
- Coursey D. G., 1967. Yams. An account of the nature, origins, cultivation and utilisation of the useful members of the *Dioscoreaceae*. Tropical Agriculture Series, Ed. Longmans : 229 p.
- Ducatillon C., 1988. Comparaison entre différents modes de croissance des ignames du Gabon (Région de Makokou). 7th symposium of the International Society for Tropical Root Crops. 1-6 juillet 1985. Ed. INRA : 221-224.
- Dumont R., 1979. Rapport IRAT-INERA.
- Dumont R. et Hamon P., 1985. Une forme originale parmi les Dioscoréacées cultivées en Afrique de l'Ouest : l'igname de Pilimpikou. 7^{ème} congrès de la Soci. Interm. plantes à Tubercules Tropic. (ISTRC), Ed. INRA, 1988.
- Gbedolo Y. M., 1991. Obstacles à la production de l'igname au Bénin. In Terry E. R., Akoroda M. O. et Arene O. B., Compte-rendu du troisième symposium triennal de la Société Internationale pour les Plantes-Racines Tropicales, Direction Afrique. Du 17 au 23 août 1996, Nigéria : Ed. CRDI : 71-75
- Goudou-Urbino S., 1995. La mosaïque de l'igname. Aspects épidémiologiques au Burkina Faso et variabilité du virus. Thèse de Doctorat. Université Montpellier II. Académie de Montpellier 147 p.
- Hamon P., 1987. Structure, origine génétique des ignames cultivées du complexe *Dioscorea cayenensis-rotundata* et domestication des ignames en Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat ès-Sciences. Université Paris XI, Centre d'Orsay : 223 p.
- Hamon P., Dumont R. et Zoundjihépon J., 1992. Le devenir des cultures traditionnelles en Afrique : le cas de l'igname (*Dioscorea*). Communication au Séminaire sur « Safeguarding the genetic basis of Africa's Traditional Crops », 5-9 octobre 1992, Nairobi, Kenya : 8 p.
- Hamon P., Dumont R. ; Zoundjihépon, J., Tio Touré B., Hamon S., 1995. Les ignames sauvages d'Afrique de l'Ouest. Caractères morphologiques. ORSTOM-Editions. 84 p.

- Hladik A., Bahuchet S., Ducatillon C., Hladik C. M., 1984. Les plantes à tubercules de la forêt dense d'Afrique centrale. Rev. Ecol. (Terre Vie), 39 : 249-290.
- Hoyt E., 1992. La conservation des plantes sauvages apparentées aux plantes cultivées. Ed. IBPGR, UICN, WWF et BRG : 52 p.
- Kasamada K., 1992. Contribution à la caractérisation morphologique des cultivars du complexe *D. cayenensis-rotundata*. Mémoire d'Ingénieur agronome, Université du Bénin. N° 91/10/PV. 103 p.
- Miège J., 1952. Contribution à l'étude systématique des *Dioscorea* d'Afrique occidentale. Thèse de Doctorat ès-Sciences, Paris : 266
- Makinon J., K, Graham C., Thorsell J., 1994. Aménagement et gestion des aires protégées tropicales. UICN, PNUE, Commission des Communautés Européennes.
- Okigbo B. N., 1991. Le rôle des plantes-racines et des tubercules dans la crise alimentaire en Afrique. In Terry E. R., Akoroda M. O. et Arene O. B., Plantes-racines Tropicales : les plantes-racines et la crise alimentaire en Afrique. Compte-rendu du 3^e symp. trien. de la Soc. Intern. pour les plantes-racines tropicales, Direction Afrique, du 17 au 23 août 1986, Nigéria : 10-25.
- Seniou D., 1993. Contribution à la caractérisation par électrophorèse enzymatique des cultivars du complexe *D. cayenensis-rotundata* ; Mémoire d'Ingénieur agronome. Université du Bénin. N° 93/01/PV. 103 p.
- Some S., Kam O., Ouedraogo O., 1995. Contraintes à la production de l'igname au Burkina Faso. Cahiers Agriculture, 1995 ; 4 : 163-9 : 163-169.
- UICN, 1980. Stratégie mondiale de la conservation. La conservation des ressources vivantes au service du développement durable. UICN, PNUE, FMN.
- Zoundjiekpon J., 1988. Ressources génétiques de l'igname : collecte d'ignames cultivées, *Dioscorea cayenensis-rotundata* dans l'est, le centre et le nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Document multigraphié. Laboratoire de génétique, FAST, 22 BP 582 Abidjan 22, COTE D'IVOIRE, 11 p.
- Zoundjiekpon J., Doukoure S., Ahoussou N., Hamon P., Tio Touré B., Hamon S., 1995. Biotechnologies et gestion des ressources génétiques des ignames. Séminaire AUPELF-UREF. Biotechnologies et Génie Génétique. Dakar, Sénégal, 16 p.
- Zoundjiekpon J., Kouakou A.M., Hamon P., Tio Touré B., 1996. Gestion des ressources génétiques des ignames en Côte d'Ivoire : Cas du nord-est. VI^{èmes} Assises de l'AISA dans la région du nord-est. Du 24 au 30 mars 1996 : 16 p.
- Zoundjiekpon J., 1994. Gestion de la diversité biologique des plantes alimentaires africaines. Projet soumis à plusieurs bailleurs de fonds. Juin, 1994 : 12 p.

DIVERSITE ET CONSERVATION DES MILS DES SAVANES NORD GUINEENNES CAS DE LA COTE D'IVOIRE

Beninga M. B.

IDESSA, Côte d'Ivoire

GENERALITES

Caractéristiques des savanes nord guinéennes

En Afrique de l'Ouest, les savanes nord guinéennes ont approximativement pour limites inférieures et supérieures, les latitudes 8° et 11°30 nord. La saison des pluies y dure de 5 à 6 mois avec une moyenne annuelle de 1 300 mm. La variation de ces pluies va de 900 à 1 800 mm. La température dans cette zone est toujours élevée (atténuée parfois durant les mois de juillet-août ou pendant l'harmattan) et très forte en saison sèche. Les formations végétales originelles étaient des forêts sèches denses avec sous-bois, la savane à graminées n'occupant que les alluvions récentes dans les vallées, les lacs colmatés, les dépressions inondées. Les sols des savanes nord guinéennes sont de type ferrugineux tropicaux à horizon de surface soit gravillonnaires, argileux ou sableux.

Mils traditionnellement cultivés dans les savanes nord guinéennes

La forte pluviométrie des savanes nord guinéennes (comparée à la faible pluviométrie des régions situées plus au nord) a donné aux mils qui y sont cultivés des traits distinctifs : cycle tardif, sensibilité à la longueur du jour, grande taille, tallage abondant, faux épis généralement courts.

A la levée, ces mils adoptent durant les trente premiers jours de leur développement un port rampant avant de se redresser. Dans l'ensemble des cultures de mils, ces mils occupent une place importante puisque sur 2 555 échantillons collectés par l'ORSTOM entre 1975 et 1982, les mils tardifs représentent 58,51% du total. Pour quelques pays de la sous région, le tableau 1 présente les principales caractéristiques des mils des savanes nord guinéennes.

Tableau 1 : Caractéristiques des mils des savanes nord guinéennes pour quelques pays d'Afrique.

	Pluviométrie en millimètre	Cycle en jour	Taille en mètre	Forme de la chandelle	Longueur de la chandelle en cm	Couleur des grains
Bénin	900-1 100	120-140	2,5-3	conique	30-45	gris-clair
Cameroun	800-1 250	110-140	2,5-3	cylindrique	25-50	jaune-clair
Côte d'Ivoire	900-1 600	120-140	3-5	conique	20-55	gris-bleuté
Ghana	1 000-1 400	120-140	4-6	conique	30-40	gris-jaune
Guinée	1 300-1 600	140-160	2,5-3	fusiforme	20-40	gris-jaune
Guinée Bissau	1 400-1 600	120-150	3-5	conique effilé	20-45	jaune-paille
R.C.A.	700-1 300	110-130	2,5-3	cylindrique	20-55	gris-bleuté
Togo	900-1 400	130-160	2,5-3	conique effilé	25-35	jaune-paille

DIVERSITE ET CONSERVATION DES MILS DE LA COTE D'IVOIRE

Pratiques culturelles liées au mil

La période agricole utile dans les savanes nord guinéennes de la Côte d'Ivoire débute dans la deuxième quinzaine de mai et se termine en mi-octobre, ce qui donne 150 jours utiles. Traditionnellement, le système agricole était itinérant et représentait plus de 95% des terres cultivées.

Une parcelle de savane ou de jachère de plus ou moins longue durée est défrichée à la main : abattage des arbres et des buissons, brûlage avec en place les plus grands arbres ou les arbres à fruits (néré, karité, tamarinier). Un certain nombre de branches, de souches et d'obstacles divers restent sur le sol. Les parcelles défrichées d'un même tenant ont en général des superficies faibles, souvent inférieures à

l'hectare. Les parcelles d'une même famille sont très fréquemment situées sur une chaîne de sol allant du bas fond au plateau.

La préparation du sol pour la mise en place des cultures est manuelle. Le travail est parfois très important pour la réalisation de buttes ou de billons. En pays Sénoufo, ce travail, aux périodes de pointe, est effectué par des gens d'un même groupe d'âge (ce travail collectif est appelé « Légré » en Sénoufo). La parcelle travaillée est très fréquemment plantée d'espèces différentes en culture associée ou intercalaire. Selon les régions, les associations les plus répandues avec le mil sont :

- nord-est (Dabakala, Nassian, Bondoukou, Bouna, Téhini)
igname - mil (dominant)
maïs - mil
- centre-nord (Tingrela, Boundiali, Korhogo, Sinématiali, Ferké, Niellé)
maïs - mil (dominant)
igname - mil (en voie de disparition)
sorgho - mil (secondaire)
- nord-ouest (Tienko, Odienné, Touba)
riz - mil
mil - fonio

Dans chacune de ces zones on note également la culture du mil en pure. Au nord-est, les semis de mil se font entre les buttes d'igname ou sur les billons entre les pieds de maïs quand ceux-ci ont environ un mois ou encore à plat en pure. Au centre-nord, les semis se font entre les buttes d'igname ou entre les pieds de maïs. Au nord-ouest, les semis de mil se font à la volée et rarement en poquets comme dans les deux zones précédentes.

Diversité génétique des mils de Côte d'Ivoire

L'étude de la collection des mils de Côte d'Ivoire a mis en évidence l'existence d'un gradient continu de formes est-ouest. Brac de la Perrière (1982) a trouvé que la longitude est très corrélée avec la longueur du cycle, le nombre de feuilles et les caractéristiques de la chandelle. Plus on se dirige vers l'ouest, plus la plante devient précoce, à chandelles longues et fines, à petit nombre de feuilles. Le même groupe de caractères est corrélé avec la latitude. Les plantes méridionales sont plus tardives, à petites chandelles et nombre de feuilles élevé.

L'étude plus précise de la différenciation géographique des cultivars sur l'ensemble de la zone dense de culture établit un continuum de formes se distribuant d'est en ouest. Ce cline phénotypique peut être mis en parallèle au cline allélique mis en évidence par Leblanc (1983) sur ADH et PGM. Dans ce cline est ouest, trois régions se distinguent :

- le nord-est (Pays Koulango-Lobi)
- le centre-nord (Pays Sénoufo)
- le nord-ouest (Pays Malinké)

Les mils du pays Koulango-Lobi présentent une bonne vigueur générale mais ont des caractères de production (cycle, tallage, taille de la chandelle) peu valorisés. Les mils du pays Malinké sont peu vigoureux mais ont des caractéristiques agronomiques intéressantes (taille courte, bon tallage, chandelles longues et fines). Les mils du pays Sénoufo se retrouvent entre les deux extrêmes et apparaissent comme de multiples formes intermédiaires entre les Koulango-Lobi et les Malinké. Au sud du pays Malinké et à l'extrême ouest dans le pays Maou, se localise une forme particulière de mil† : le leonis. Les grains de ce mil se caractérisent par un apex pointu terminé par les reliquats de la base du style. Cette race est adaptée aux régions à forte pluviométrie (1 500-1 600 mm par an). Dans le cline est-ouest, il est possible de faire correspondre à un type morphologique donné un certain zymogramme avec une bonne probabilité.

A l'intérieur de chaque groupe régional, la variabilité est très ouverte et malgré les échanges géniques très importants entre groupes régionaux, l'organisation géographique globale est très nette. L'histoire de la culture du mil et de l'occupation de la Côte d'Ivoire par des ethnies très différentes pourrait aisément être responsable du gradient est-ouest constaté. Dans cette diversité organisée des populations du nord Côte d'Ivoire, à l'est les ethnies burkinabées et ghanéennes ont pu introduire des variétés d'un type morphologique et de structure génétique différents de celles introduites par les groupes malinkés venus de l'ouest et du nord-ouest. Ce cline pourrait être le résultat des échanges

progressifs de proche en proche entre populations voisines à partir des deux pôles que constituent les types variétaux bien différenciés.

Le tableau 2 résume les caractéristiques moyennes des trois groupes régionaux de mils.

Tableau 2 : Caractéristiques moyennes des trois groupes régionaux de mils

Caract. Pays	ETP	NF	LOC	LAC	PMG	HG	LG	ADH _s	PGM _R
Pays Koulango-Lobi	98	12,2	22,8	2,91	9,3	4	2	0,27	0,81
Pays Sénoufo	97	11,8	28,8	2,5	10,5	4	3	0,50	0,55
Pays Malinké Nord	92	10,3	31,0	2,3	11,8	3	3	0,46	0,50
Pays Malinké Sud	110	20	15,0	2,5	-	4	2	-	-

ADH = fréquence allélique de l'alcoolodéshydrogénase

ETP = épiaison de la talle principale en nombre de jours

HG = hauteur du grain en millimètres

LAC = largeur de la chandelle en centimètres

LG = largeur du grain en millimètres

LOC = longueur de la chandelle en centimètres

NF = nombre de feuille sur la talle principale

PGM = fréquence allélique de la phosphoglucomutase

PMG = poids de 1 000 grains en grammes

Choix des semences et modes de conservation des mils

En Côte d'Ivoire, la récolte du mil s'échelonne de début décembre (régions de Tingrela, Boundiali, Korhogo, Ferké, Niellé, Bouna) à début janvier dans les régions situées plus au sud et plus à l'ouest (pays Maou). A maturité, les tiges de mil sont coupées au ras du sol et couchées en lignes parallèles. Une à deux semaines après la coupe, lorsque les pailles sont bien sèches et le taux d'humidité dans les épis réduit, la récolte proprement dite des chandelles s'effectue. Les chandelles sont rassemblées sur des claies au champ hors de la portée des rongeurs et du bétail. Lorsque les grains sont jugés suffisamment secs, le battage des chandelles à l'aide des fléaux se fait sur des aires aménagées et le produit est amené au village après vannage pour être conservé dans les greniers.

Lorsque les récoltes ne sont pas abondantes, les chandelles après séchage sont transférées directement dans les greniers au village. Selon les besoins, la consommation progressive se fait par battage de quelques bottes de chandelles. Les greniers sont en général des constructions bien faites :

- soubassement en grosses pierres sur lesquels sont disposés de gros troncs d'arbres qui supportent à leur tour des baguettes, elles mêmes recouvertes d'un dallage.
- montée de murs très polis à l'intérieur et divisés en deux ou trois loges selon le nombre de cultures à conserver. Il existe une tour d'aération par loge.
- aménagement d'une ouverture latérale par où passera quelqu'un pour les stockages ou prélèvements.
- fermeture supérieure en paille.

En pays Koulango-Lobi, on rapporte la nécessité de procéder à des sacrifices avant d'apporter les récoltes au village. Dans ce pays, les paysans choisissent à la récolte les meilleurs épis qu'ils attachent en bottes. Ces bottes ramenées au village sont mises à sécher sur les toits des maisons en terrasse (soukala). Côte à côte sèchent des bottes de mil, sorgho, maïs, riz. A l'approche de la saison des pluies, ces bottes sont enlevées pour être gardées dans les maisons ou les greniers. En pays Malinké, du fait de l'humidité atmosphérique élevée et de risques de pluies, les meilleurs épis choisis par les paysans sont aussi attachés en bottes mais suspendus immédiatement dans les cases au-dessus des foyers. Les semences ainsi constituées servent en général pour la prochaine campagne ou bien entrent dans les différents échanges interpayans.

En pays Sénoufo (zone tampon entre les pays Malinké et Koulango-Lobi), il n'existe pas de choix de semences à la récolte et pour la prochaine campagne. Les paysans achètent leurs prochaines semences directement dans les marchés ou bien se servent sur les stocks alimentaires. Signalons que dans

certaines localités, les chandelles récoltées sont hachées grossièrement pour en diminuer l'encombrement avant d'être stockées en l'état dans des greniers construits au champ ou au village.

Au delà des pratiques paysannes traditionnelles, l'existence d'un cline est-ouest mis en évidence par les analyses morpho-enzymatiques a imposé à la recherche sur le mil conduite par l'Institut des Savanes (IDESSA) de constituer quatre réservoirs pour la conservation des mils ivoiriens.

- Un premier réservoir constitué des écotypes du nord-est (Bouna)
- Un deuxième constitué des écotypes du centre-nord (Ferké-Korhogo).
- Un troisième constitué des écotypes de la partie septentrionale du nord-ouest (Tingrela)
- Un quatrième constitué des écotypes de la partie méridionale du nord-ouest (Touba) dont en particulier les mils leonis.

La conservation sur le site des mils ivoiriens par réservoir reste tout de même facile à gérer dans un paysage agricole soumis à de nombreux bouleversements. La conservation dans les chambres froides et climatisées est pour le moment difficile à gérer vu le coût de l'énergie électrique et de la main d'oeuvre qualifiée pour les régénérations.

CONCLUSIONS

Face au déficit pluviométrique de ces derniers temps qui s'accroît d'année en année dans toutes les régions Sahéliennes (grandes productrices de mil), les mils tardifs des savanes nord guinéennes constituent une alternative pour les producteurs et les consommateurs de cette céréale. Il est important de mettre au point des programmes de recherche qui les collectent, les évaluent et imaginent des schémas de conservation susceptible d'en garder la diversité génétique. Les pays à savanes nord guinéennes pourraient se donner la main pour plus d'efficacité.

BIBLIOGRAPHIE

- Atlas de la Côte d'Ivoire, 1983. Edition J.A
- Beninga M.B., 1984. Production et amélioration du mil (*Pennisetum typhoides*) en Côte d'Ivoire.
- Communications de l'atelier régional sur l'amélioration du mil. Centre sahélien de l'ICRISAT Niamey, Niger 31 août - 4 septembre 1984.
- Beninga M.B., 1989. Etude de quelques paramètres génétiques des cultivars de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) de Côte d'Ivoire et stratégies de sélection. Proceedings of regional pearl millet improvement workshop. ICRISAT, Sadoré, Niger 4-7 septembre 1989.
- Brac de la Perrière R.A., 1982. Contribution à l'évaluation et à la conservation de la variabilité des mils (*Pennisetum typhoides* (Burm.) Stapf & Hubb.) de Côte d'Ivoire. Thèse de 3^e cycle, Université Paris XI, Orsay.
- Clément J., 1985. Les mils pénicillaires de l'Afrique de l'Ouest. Prospections et collectes. IBPGR - ORSTOM.
- Leblanc J.M. and Pernès J., 1983. Enzyme polymorphism of *Pennisetum americanum* in Ivory Coast Japan J. Genetics.
- Le Buanec B., 1975 - 1976. Notes d'agriculture ivoirienne. Première partie.
- Pernès J., 1984. Gestion des ressources génétiques des plantes. Tome 1 : Monographies. Technique et documentation - Lavoisier.

LES VARIETES TRADITIONNELLES DE MIL EN AFRIQUE SAHELIENNE FACTEURS DE STABILITE ET DE VARIATION

Clément J.C.

ORSTOM, Paris, France

INTRODUCTION

Au cours de ces dernières décennies, l'accélération de l'érosion génétique tant chez les espèces cultivées traditionnelles que chez les formes sauvages qui leur sont apparentées qu'elles soient associées, voire inféodées ou non aux cultures, a mis en évidence l'urgente nécessité de développer des programmes de sauvegarde des ressources phytogénétiques mondiales. Le capital biologique que désigne le concept nouveau de « biodiversité » est aujourd'hui considéré par la communauté internationale comme patrimoine de l'humanité. Cette biodiversité constitue une des bases potentielles valorisables dont il faut tenir compte dans la mise en place de toute stratégie ayant pour enjeu un développement durable. Si la biodiversité peut paraître moins importante en zone aride que dans les régions climatiquement plus favorisées, en revanche elle recèle une diversité intra-spécifique remarquable. A la multiplicité, à la complexité des écosystèmes qui se sont développés en situation d'extrême précarité, correspond une diversité génétique naturelle nécessairement adaptative, mouvante, donc évolutive. Dans les régions sub-sahariennes et sahéliennes soumises à de fortes contraintes édapho-climatiques, les terroirs qui se sont lentement constitués au cours des siècles ont un équilibre fragile. La dégradation parfois soudaine de leur environnement ainsi que de profonds changements socioculturels et socio-économiques sont les principaux facteurs d'appauvrissement de la variabilité existante. De tels bouleversements peuvent provoquer la disparition rapide et irréversible de cultivars traditionnels. C'est dans ce contexte, certes préoccupant mais qu'il serait excessif de qualifier de catastrophique, du moins en ce qui concerne la situation des variétés traditionnelles en Afrique de l'Ouest, que la FAO puis l'IPGRI ont développé dès 1974 en collaboration avec l'ORSTOM et l'ICRISAT un vaste programme de prospections et de collectes des deux plus importantes céréales du Sahel : le mil dont il sera question ici et le sorgho.

LE MIL : UNE CEREALE BIEN ADAPTEE AU SAHEL

Le mil est par excellence la céréale de survie des populations du Sahel. L'aire naturelle de distribution des deux formes sauvages auxquelles il s'apparente, comprise entre 12 et 21° de latitude nord, lui confère son origine africaine. Dans les conditions de fortes contraintes qui caractérisent le milieu naturel de la frange sub-saharienne et de toute la zone sahélienne, le mil semblait donc inévitablement destiné à devenir, par le jeu de la sélection naturelle et par l'action de l'homme, une plante particulièrement bien adaptée à des conditions de cultures difficiles. Bien que cette céréale soit appréciée et cultivée dans les zones plus méridionales où les rendements sont nettement plus élevés, l'importance de la culture des mils pénicillaires croît progressivement en remontant vers le nord jusqu'à l'extrême limite septentrionale des cultures pluviales. Schématiquement on peut considérer que les mils sont pratiquement exclusifs en culture pluviale en dessous de 350 mm, prépondérants jusqu'à 600 mm et présents dans les zones plus arrosées où l'importance de leur culture est alors fonction de l'intérêt que les cultivateurs manifestent pour cette céréale puisqu'ils disposent par ailleurs d'une gamme plus étendue de produits vivriers.

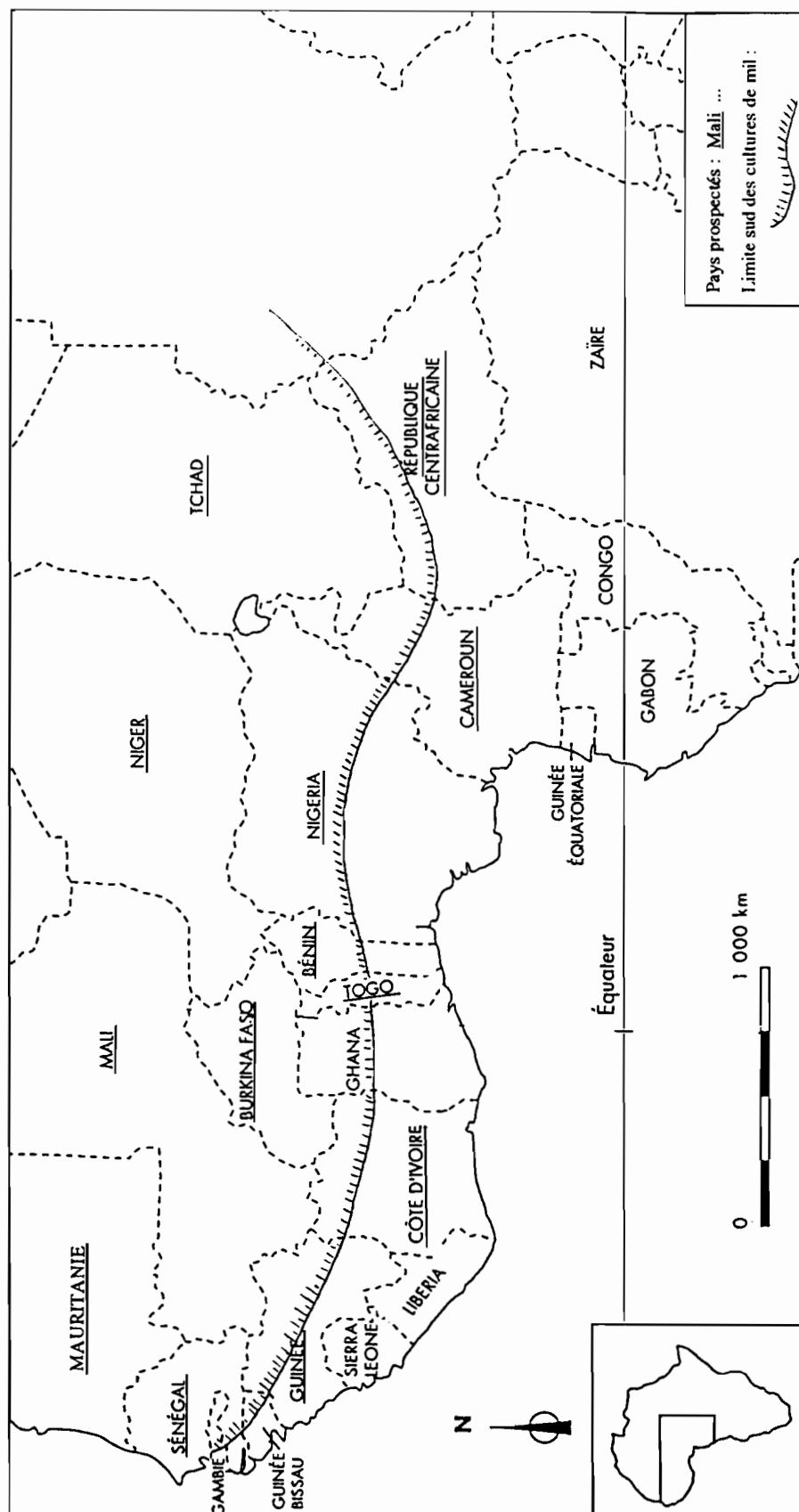
En fait, les cultures de mil se sont développées et se maintiennent là où d'autres plantes ne peuvent les concurrencer. C'est avant tout une production vivrière d'autoconsommation qui reste encore actuellement dépendante du seul besoin des populations locales sans réelle préoccupation rentable au sens purement économique du terme.

LES PROSPECTIONS ORSTOM DES MILS PENICILLAIRES

Aux mils et sorghos, céréales indissociables l'une de l'autre tant par le rôle de complémentarité qu'elles jouent au sein des systèmes agraires traditionnels qu'en raison de leur héritage culturel

commun, vient s'ajouter la collecte de graminées alimentaires dites mineures, désignées en Afrique de l'Ouest sous l'appellation générique de « fonio ». L'importance de la production et l'intérêt que certaines populations manifestent toujours pour ces cultures ancestrales font que ces petites céréales occupent encore aujourd'hui une place non négligeable dans un contexte d'économie de subsistance.

Carte : Prospections des mils pénicillaires en Afrique de l'Ouest.



Prospections Orstom des mils pénicillaires en Afrique de l'ouest

Les collections *ex situ*, bien qu'elles montrent certaines insuffisances, sont actuellement dans bien des situations le seul moyen de sauvegarder des espèces en voie de disparition. Leur mise en place passe nécessairement par les phases obligées des inventaires et des collectes.

Dans le cadre de cet exposé, il paraît utile de présenter brièvement les prospections de mils, d'en dresser un bilan sommaire et de faire le point sur l'état du matériel conservé. Les prospections qui se sont succédées de 1974 à 1988 (cf tableau 1) couvrent l'ensemble des grandes régions productrices de mil en culture pluviale ou de décrue des pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre-Ouest auxquelles s'ajoutent les espaces oasiens, isolats naturels, où se sont constitués des biotopes spécifiques.

Tableau 1 : Collectes IPGRI/ORSTOM : inventaire chronologique des prospections de mil.

Pays prospectés	Nombres d'échantillons collectés				Total
	Années collecte	Formes cultivées	Formes intermédiaires	Formes sauvages	
Côte d'Ivoire	1974	56	12	0	68
Sénégal	1974	231	21	0	252
Cameroun	1975	144	2	4	150
Bénin	1975	44	28	0	72
Burkina.Faso	1975	195	108	2	305
Mali	1975	353	39	15	407
Niger	1975	187	150	8	345
R.C.A	1975	58	0	4	62
Togo	1975	21	9	0	30
Niger	1976	389	0	16	405
Nigéria	1976	53	10	12	75
Sénégal	1976	243	17	23	283
Togo	1977	128	3	1	132
Bénin	1978	138	10	1	149
Mali	1978	419	0	38	457
Cote d'Ivoire	1979	114	0	0	114
Burkina.Faso	1981	210	0	3	213
Guinée	1982	72	0	0	72
Burkina.Faso	1983	77	0	0	77
Mauritanie	1984	37	14	19	70
Burkina.Faso	1985	0	1	9	10
Niger	1985	0	5	66	71
Mali	1986	0	0	33	33
Niger	1986	0	1	4	5
Mali	1987	0	0	8	8
Mauritanie	1987	0	0	13	13
Niger	1987	0	2	9	11
Sénégal	1987	0	3	5	8
Tchad	1988	15	0	13	28
Nigéria	1988	0	2	2	4
Soudan	1988	0	1	9	10
Echantillons collectés		3 184	438	327	3 949

Techniques de prospection

La recherche et la collecte des variétés traditionnelles, pour qu'elles soient exhaustives nécessitent une couverture maximum des différentes zones concernées par les cultures. Afin d'éviter les inconvénients des collectes linéaires qui bien souvent ne permettent pas d'appréhender toute la variabilité, les

prospections ont été conduites, autant que faire se peut, suivant un canevas établi en fonction des grands groupes de cultivars connus, de leur répartition géographique et des informations disponibles.

Un pas moyen d'échantillonnage, compris entre 20 et 30 km, a été utilisé pour quadriller les aires de cultures continues ou relativement homogènes. Cette distance a pu être raccourcie ou considérablement allongée en fonction de situations particulières rencontrées sur le terrain. En effet les critères d'échantillonnage peuvent varier d'une zone de culture à l'autre, d'un village, voire d'un terroir à l'autre : densité des emblavements, pratiques culturales, types de cultures établies sur berges, « laisses » de décrue ou de bas-fond, spécificité des isolats, particularismes ethniques, intérêt plus ou moins marqué des cultivateurs pour une plante vivrière ou une autre.

Les équipes de prospecteurs se sont efforcées d'effectuer aux points de collecte des enquêtes approfondies auprès des cultivateurs ou des responsables de villages sur les échantillons prélevés et sur les variétés cultivées ou connues dans le périmètre du pas d'échantillonnage. Sur le terrain, cette distance moyenne correspond souvent pour le cultivateur à l'espace dans lequel il évolue quotidiennement et qu'il connaît bien. Les informations fournies sont alors beaucoup plus crédibles et permettent d'une part de mieux cerner les zones de contact, de changement ou de recouvrement des différents cultivars et d'autre part d'établir les recoupements nécessaires lorsqu'il s'agit d'identifier le même cultivar désigné sous des appellations vernaculaires différentes. Toutes ces informations sont indispensables pour comprendre l'organisation variétale à l'échelle du village ou de la région et parfois même au niveau des groupes ethniques.

Bilan général des prospections

Les prospections ont permis de constituer une collection largement représentative de la diversité des mils penicillaires présente en Afrique de l'Ouest. Les différentes formes collectées appartiennent à l'espèce *Pennisetum glaucum*, pool primaire du genre *Pennisetum*. Ce pool primaire, monospécifique, se subdivise en trois sous espèces : *Pennisetum glaucum* subsp. *glaucum* qui est la forme cultivée, *Pennisetum glaucum* subsp. *violaceum*, la forme sauvage supposée être à l'origine des cultivées et *Pennisetum glaucum* subsp. *sieberanum* comprenant les formes issues des croisements naturels entre plantes cultivées et sauvages (Lebrun J.P., Stork A.L.). En ce qui concerne la taxinomie des formes sauvages, certains auteurs établissent un net distinguo entre forme allopatrique et forme sympatrique du mil cultivé, morphologiquement différentes entre elles et par ailleurs n'occupant pas les mêmes niches écologiques : *Pennisetum violaceum* étant la forme allopatrique nitrophile et *Pennisetum mollissimum* la forme sympatrique. Cette collection rassemble 3 950 échantillons de grains maintenus en conditions de conservation à court terme au Laboratoire des Ressources Génétiques et Amélioration des Plantes Tropicales (LRGAPT) au Centre ORSTOM de Montpellier, France.

A la fin de chaque prospection, un double des échantillons collectés a été remis aux autorités compétentes du pays visité. Par ailleurs, dans la perspective d'une conservation à plus long terme un duplicata des formes cultivées a été adressé au Centre de Conservation d'Ottawa (Canada).

Contrôle de la viabilité des graines conservées

La gestion d'une collection de graines implique nécessairement un contrôle régulier dans le temps de la viabilité du matériel conservé. En 1974, à défaut de disposer de références précises et d'un recul suffisant en ce qui concerne la perte de viabilité des graines de mil conservées en atmosphère contrôlée ou non, il fut estimé que les conditions de conservation dites à « court terme » : température de 4 à 5° pour une humidité relative de 12 à 18% étaient suffisantes pour maintenir, à échéance de 15 ans, le taux de germination en dessous du seuil critique de régénération. Pour une plante allogame comme le mil, il est généralement admis que le taux minimum de germination ne doit pas être inférieur à 60%.

Lors de la mise en place de la collection, le protocole prévoyait pour chaque nouvelle collecte un test d'entrée puis des contrôles tous les 5 ans sur l'ensemble des échantillons. Ces contrôles ne concernent que les cultivars. La faible quantité de graines disponible dans les échantillons des formes sauvages et intermédiaires ne permet pas, en effet, d'effectuer les prélèvements successifs que nécessite l'étude.

Une première analyse des tests effectués sur les échantillons des collectes les plus anciennes (1975-76), permet aujourd'hui, pour ce qui est du mil, d'apprécier sur une période de 20 ans dans les conditions de conservation précédemment décrites l'incidence du vieillissement sur la faculté germinative et de mieux cerner les limites temporelles au delà desquelles la phase de régénération devient impérative. Les histogrammes montrent que si les taux de germination les plus élevés fléchissent comme l'indiquent les cinq tests successifs (1976-1981-1986-1991-1996), en revanche le nombre d'échantillons qui à l'origine se positionnait dans la plage 61 à 100% de germination, c'est-à-dire au dessus du seuil de régénération, se maintient dans la même plage avec une certaine marge de sécurité puisque le glissement vers la classe 61 à 70% est à peine amorcé. Il est donc possible d'envisager pour ce type de collection de dépasser largement et sans risques apparents le temps de conservation initialement prévu (cf. fig 1).

Figure 1 : Evolution du taux de germination des graines de mil (conservation : température 4° - 5°C ; humidité relative 12 à 18%).

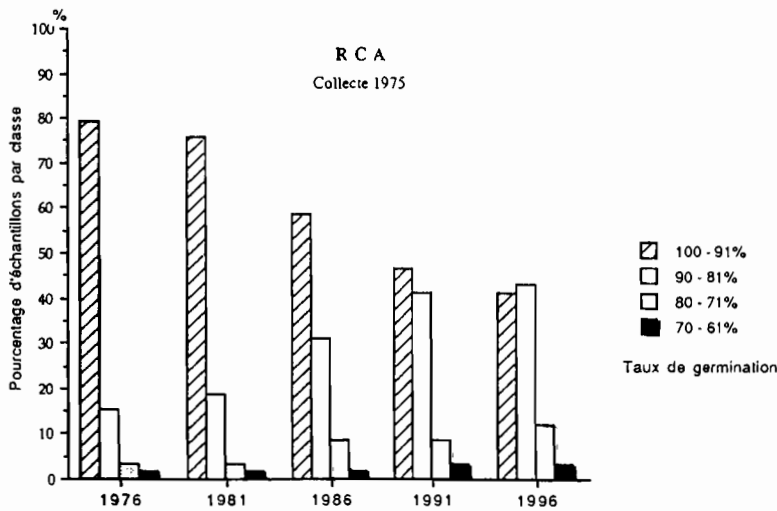
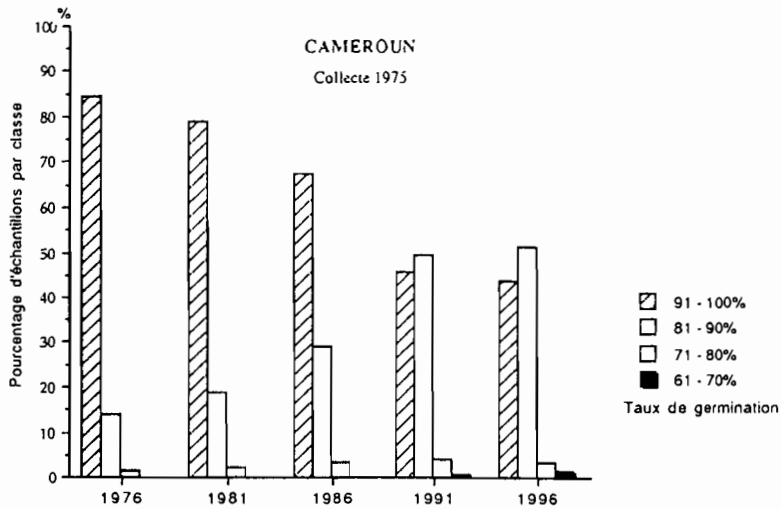


Fig.2 - Evolution du taux de germination des graines de mil.
(conserve : température 4°/5°C ; humidité relative 12 à 18%)

DIVERSITE DES MILS CULTIVES DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

Si l'on admet comme postulat que la forme ancestrale du mil fut domestiquée par d'anciennes civilisations agraires qui se sont développées et succédées dans tout l'ouest africain, il n'est pas étonnant de rencontrer dans cette vaste région des formes cultivées traditionnelles très diversifiées. Le polymorphisme tant inter qu'intra variétal bien spécifique aux cultivars ouest africains se remarque notamment au niveau du faux épi par un ensemble de caractères morpho-agronomiques que les cultivateurs ont depuis des générations parfaitement mémorisés et utilisés comme critères de sélection lorsqu'ils procèdent aux choix des semences. Pour l'essentiel, ils concernent les longueur, largeur et forme de la chandelle, les couleur, grosseur et la vitrosité du grain, la non caducité des épillets.

A ces caractères observables à l'oeil nu qui permettent d'identifier les principaux phénotypes à l'échelle locale, régionale ou d'aires géographiques distinctes, s'ajoute un autre facteur variétal discriminant : l'intervalle semis-récolte dont le gradient se traduit en terme de précocité ou de tardiveté suivant le comportement photopériodique des cultivars. Les mils maliens par exemple ont la particularité de s'inscrire dans une gamme précocité-tardiveté unique en Afrique de l'Ouest. Dans la région de Kolokani les paysans cultivent séparément, mais en parcelles plus ou moins proches ou contiguës, deux « sounas » et trois « sonios » : le « souna dié » 75-85 jours, le « souna boabâ » 85-95 jours, le « sanio titioni » 100-110 jours, le « sanio makangoulou » 115-140 jours, enfin le « sanio boabâ » 130-160 jours.

Cette succession de cycles qui a pour corollaire un étalement des floraisons au sein des différentes populations cultivées établit, y compris avec les formes sauvages et intermédiaires avoisinantes ou qui cohabitent dans les parcelles, une sorte de continuum d'échanges géniques et par la même favorise la progression spatiale des flux de gènes.

Stabilité des aires géographiques et des types cultivés

La comparaison entre les acquis des récentes prospections et les données plus anciennes provenant des inventaires, des rapports de missions, notes et études diverses, fait ressortir deux faits essentiels : la stabilité de la répartition géographique des grands groupes de cultivars et l'étonnante pérennité des différents phénotypes cultivés dans ces grands ensembles régionaux.

Cette constance est particulièrement remarquable dans la zone centrale - Mali, Burkina, Niger - où se rencontre pourtant la diversité variétale la plus importante de l'Afrique de l'Ouest. Dans ces régions les variétés traditionnelles ainsi que les différentes familles de cultivars précédemment décrites par de nombreux auteurs sont toujours présentes. Elles ont maintenu leurs caractéristiques morpho-agronomiques et conservé la même hiérarchie au sein de leurs systèmes agraires.

D'une façon générale, les grands types variétaux restent significativement distincts bien que très souvent leurs aires de culture se juxtaposent ou se recouvrent. Ce paradoxe peut s'expliquer par le choix des cultivateurs qui ne retiennent pour la semence, parmi les différentes populations cultivées, que les chandelles correspondant aux types variétaux qu'ils veulent maintenir et auxquels ils restent solidement attachés. En fait la stratégie du cultivateur en matière de semences le conduit à utiliser un mode de sélection massale mais qui serait à « flux génique tendu » se renouvelant à chaque cycle cultural. Par l'allogamie, le mil offre un panel de génotypes répondant à la diversité des situations rencontrées, variables d'une année à l'autre, ce qui peut être perçu comme étant une bonne capacité d'adaptation au milieu. Par ailleurs, la recherche d'une plus grande sécurité alimentaire conduit à l'utilisation d'une gamme variétale et de cycles la plus étendue possible ce qui apparente ces systèmes agraires à de véritables « conservatoires *in situ* » de la diversité.

Au Nord Cameroun une méthode traditionnelle et originale de gestion des semences a pour résultat l'obtention de populations de mil remarquablement homogènes. Dans la région du Margui-Wandala l'ethnie Matakam corrige l'épuisement des sols emblavés en sorgho par l'obligation d'une alternance annelle avec une céréale moins exigeante comme le mil. Dans ce système une alternance totale mil-sorgho, sorgho-mil serait risquée notamment pour assurer les semis de la céréale de subsistance pour l'année suivante. La semence est alors obtenue en semant une petite parcelle généralement proche des habitations pour en assurer la surveillance. Cette méthode de multiplication en population libre mais

isolée des flux polliniques exogènes a de fortes implications quant à la diversité génétiques de ces cultivars locaux.

Un autre exemple d'isolement génétique est donné par un cultivar de la région sud-est du Burkina Faso : l'« iniadi ». Il se caractérise par une chandelle courte de forme conique. Ce cultivar d'un cycle de 90 jours est le seul précoce cultivé dans un ensemble de mils tardifs adaptés à des conditions climatiques où la pluviométrie est supérieure à 1 100 mm. L'« iniadi » se rencontre également au Nord Togo sous d'autres appellations « missé » ou « ignié » ainsi qu'au Bénin que l'ethnie Fon désigne par le nom de « li koun ». L'isolement génétique que lui confère son décalage de floraison peut expliquer le maintien de l'originalité génétique de la famille « iniadi » qui en raison de son aptitude à la combinaison constitue l'un des groupes principaux utilisés pour la création d'hybrides F1 de mil (réf. D.J. Andrews and K. Anand Kumar. Pl. Gen. Res. Newsl. 1996. n°105).

LES EFFETS DE LA SECHERESSE SUR LA DIVERSITE VARIETALE

Les prospections réalisées avant et après les périodes de grande sécheresse qui ont affecté l'ensemble des pays du Sahel ont permis d'apprécier « l'impact sécheresse » sur la diversité variétale, de suivre l'évolution des cultivars et de connaître les changements qui ont pu se produire au sein des systèmes agraires.

Les facteurs de changement ne sont pas réductibles aux seuls faits climatiques

Les périodes de sécheresse qui se sont succédées (1968 à 1973, 1976 à 1979, 1983 à 1985) ont eu certes des conséquences mais il convient toutefois, à la lumière de ce qui a pu être observé, d'en relativiser les effets. L'accentuation des phénomènes de sécheresse ne peut être tenue comme étant la seule responsable de la dégradation de la diversité variétale. L'« effet sécheresse » s'inclue dans un ensemble de paramètres qui à des degrés divers constitue un des facteurs importants d'aggravation de l'appauvrissement de la variabilité.

La disparition presque totale des cultures de mil pourtant traditionnelles dans la région de Touboro au Cameroun ou de Bossangoa dans le nord de la République Centrafricaine est consécutive à l'activité agricole essentiellement tournée vers la production cotonnière. En Guinée, région de Kankan et au sud de Siguiri, le mil est pratiquement abandonné par les Malinkés qui lui préfèrent des céréales plus attractives comme le riz et le maïs. Au Sénégal oriental la situation est semblable. Par ailleurs dans la région du fleuve de Bakel à Saint-Louis, le « Tiotandé » écotype spécifique des cultures de décrue en contre saison n'existe plus qu'à l'état de culture relique ; maïs et sorghos plus productifs et moins vulnérables aux prédateurs le remplacent. Il en va de même pour le « Ligui » du Tchad, forme très précoce et de structure particulière : taille réduite, petites chandelles, tiges nombreuses et fines, autrefois cultivé en décrue sur les terres libérées par les eaux des zones dépressionnaires. Au Mali, dans le cercle de Nioro, aux conditions climatiques pourtant typiquement sahéliennes (5 à 600 mm), le mil cède le pas aux sorghos.

Principale conséquence de la sécheresse : un brassage intra-population

En Mauritanie les déficits pluviométriques successifs ont amené de nombreux cultivateurs à interrompre leur production de mil pendant un ou plusieurs hivernages au profit des sorghos mieux adaptés aux cultures sur « retraits » des mares naturelles. Le retour à un emblavement en mil lors d'hivernages favorables a nécessité un approvisionnement en semences nouvelles. D'une façon générale, ces renouvellements se sont effectués soit par le biais d'échanges avec les cultivateurs des régions voisines où les cultures n'ont pas été interrompues, soit à partir de semences distribuées, essentiellement le souna sénégalais, dans toute la région ouest.

A tradition caravanière, la Mauritanie, par ailleurs empreinte d'un pastoralisme ancestral, est une région ouverte à de continuels échanges. Exception faite des écotypes d'oasis, sur lesquels la sécheresse n'a eu aucun effet puisqu'ils sont cultivés en parcelles irriguées, existe-t-il réellement des cultivars mauritaniens originaux ? Leurs caractéristiques morphologiques les apparentent nettement dans la région centre-ouest et ouest aux « sounas » sénégalais du fleuve, et à l'est aux « sounas »

maliens de la région de Nara. La perte des semences n'a pas entraîné la disparition de variétés locales en tant que telles, mais elle a favorisé dans les zones de renouvellement un brassage intra population lors de la reprise des cultures dans les aires de répartition des deux types de « sounas ».

Ce phénomène se remarque également au Niger où la progression du front de la sécheresse a provoqué, sans qu'il y ait eu interruption des cultures, un brassage suivant un axe nord-sud à l'intérieur même des grands groupes de cultivars.

Les tentatives d'introduction de cultivars

L'histoire du Sahel porte de nombreuses traces de crises climatiques comparables à celles qui viennent de se produire. De tout temps la nécessité d'apporter une solution aux difficiles périodes de soudure a conduit les paysans à s'intéresser à des variétés plus précoces ou plus rustiques. Lorsque le potentiel variétal local ne peut faire face à de trop fortes contraintes, la tentation est grande de faire appel à des cultivars des régions voisines qui peuvent paraître plus productifs ou mieux résister aux aléas des cultures.

D'une façon générale, s'il y a bien eu ces dernières années à l'échelon individuel diverses tentatives d'introduction de variétés provenant d'aires géographiquement proches, les résultats obtenus furent estimés décevants par les cultivateurs qui en prirent l'initiative. Ces cultivars ne se sont jamais substitués aux types locaux. Au Togo dans la région de Dapaong, quelques cultivars en provenance du Gourma voltaïque et du Nord Burkina ont été essayés sans succès.

Au Niger, les mouvements de certains cultivars doivent être considérés comme des extensions de leur aire d'origine et non pas comme des introductions. Ainsi le « boudouma » a glissé de Bosso vers la région de Mainé Soroa et l'« ankoutess » a nettement progressé d'est en ouest. Le choix de ce cultivar ne s'est pas fait en fonction de sa précocité - régionalement il n'est pas le plus hâtif - mais en raison de son adaptation aux conditions climatiques sévères qui caractérisent son aire d'origine. Il en résulte que sa culture en zone plus arrosée suivant l'axe nord-sud des isohyètes n'a pas donné les résultats escomptés. En revanche dans la région de Fillingué et de Ouallam, une forme « maéwa » plus précoce a progressé vers le nord jusqu'à la limite du front de sécheresse.

Evolution des formes tardives vers plus de précocité

Dans les régions où coexistent des formes précoces, semi-précoces ou tardives, ces deux dernières évoluent, d'une façon générale, vers un raccourcissement de leur cycle végétatif. C'est en quelque sorte une réponse à la conjoncture climatique mais le choix des paysans s'inscrit dans une stratégie de conservation qui consiste à ne pas éliminer un cultivar apprécié par ses qualités tant qu'il n'a pas démontré d'une façon rédhibitoire son inadaptation aux contraintes qu'il subit.

Au Sénégal, dans tout le bassin arachidier et dans la région du Siné-Saloum, le « sanio » n'est pratiquement plus cultivé sous la forme tardive originelle (140-160 jours) mais il subsiste néanmoins dans certains terroirs bien organisés notamment en pays sérère où les paysans fortement attachés à leurs cultivars ont orienté leur sélection vers un type plus précoce (120-130 jours) tout en lui conservant ses qualités intrinsèques. De même au Niger dans la région sud-est, la variété semi-tardive « maéwa » (120-130 jours) qui correspond au seuil des mils tardifs au Niger a gagné en précocité (100-120 jours). Cette forme semi-précoce, à grain jaune ou gris-jaune, a perdu la couleur gris-bleu caractéristique de la forme type que l'on trouve toujours dans son aire d'origine au Nord Nigéria.

CONCLUSION

Les facteurs de variation et de stabilité doivent être pris en compte pour la définition de stratégies permettant la mise en place de systèmes de conservation dynamique des ressources génétiques du mil. Pour tenter de conserver le maximum d'intégrité aux cultivars d'origine, il paraît indispensable de se rapprocher le plus possible des conditions de culture. Les connaissances et les qualifications des agriculteurs, qui traditionnellement gèrent et entretiennent leur diversité variétale, constituent une base solide pour la conservation *in situ*. Les stratégies devront être définies en tenant compte non seulement de la complexité des systèmes de culture et des différents modes de gestion des semences

qui maintiennent la dynamique évolutive des populations de cultivars mais aussi des formes spontanées dans leurs écosystèmes naturels.

BIBLIOGRAPHIE

- Andrews D.J., Kumar K.A. Use of the West African pearl millet landrace Iniadi in cultivar development. (Plant Genetic Resources Newsletter, 1996, n°105)
- Asseginou S. Les mils pénicillaires du Tchad. Document. 1970
- Bayle Ch. Arachide mil sorgho en Guinée française. 1955. Bull.Agro.
- Bezot P. L'amélioration des cultures de céréales au Tchad. 1962.
- Bilquez A.F. Méthodes d'amélioration des mils. Document. 1959.
- Bilquez A.F., Clément J.C. Etude du mode d'hérédité de la précocité chez le mil pennicillaire. Agr.Trop.1963.
- Bono M. Contribution à la morphosystématique des *Pennisetum* cultivés pour leur grain en Afrique occidentale. Agr.Trop.1973.
- Bono M. Des caractères dans la sélection des sorghos et mils *Pennisetum*. Agr. Trop.1954.
- Bouchet P. Les mils et sorghos dans la République du Mali. Agr.Trop 1963.
- Catherinet M.D. La culture du mil au Soudan. Document.1956. Le mil et le sorgho dans l'Agriculture du Niger. Problème d'amélioration. Agr.Trop. 1936.
- Clément J.C. Prospections mil: Guinée 1957 ; Sénégal 1959 ; Mauritanie 1961 ; Mali 1964 ; Niger 1967-1971 ; Burkina-Faso 1969.Documents.
- Clément J.C., Sequier J..Prospection des mils pénicillaires en Afrique de l'Ouest. Cameroun et République Centrafricaine.1975. (IBPGR-ORSTOM).
- Clément J.C., Houdiars J. Prospection des mils pénicillaires en Afrique de l'Ouest. Nigéria et Sénégal.1976. (IBPGR-ORSTOM).
- Clément J.C., Leblanc J.M. Prospection des mils pénicillaires en Afrique de l'Ouest. Togo.1977 (IBPGR-ORSTOM).
- Clément J.C., Leblanc J.M. Prospection des mils pénicillaires en Afrique de l'Ouest. Mali. 1978 (IBPGR-ORSTOM).
- Clément J.C., Leblanc J.M. Prospection des mils pénicillaires en Afrique de l'Ouest. Guinée. 1982 (IBPGR-ORSTOM).
- Clément J.C., Perret P.M. Prospection des mils pénicillaires en Afrique de l'Ouest. Burkina-Faso. 1983. (IBPGR-ORSTOM).
- Clément J.C., Leblanc J.M. Prospection des mils pénicillaires en Afrique de l'Ouest. Mauritanie. 1984. (IBPGR-ORSTOM).
- Clément J.C. Les mils pénicillaires de l'Afrique de l'Ouest. Prospections et collectes. 1974-1984. (IBPGR-ORSTOM).Edit.IBPGR. 1985.
- Clérin M. Le mil et l'arachide au Soudan Français. 1955.
- Clérin M. Le mil et l'arachide au Bénin. 1955.
- Combes D., Niangado O. Prospection des mils pénicillaires en Afrique de l'Ouest. Bénin. 1978. (IBPGR-ORSTOM).
- Corriols J. Observations sur la biologie florale du mil et sorgho au Sénégal. Agro. trop. 1951 ;
- Corriols J. Les cultures vivrières dans les territoires relevant du secteur soudanais de recherches agronomiques, leurs améliorations. Agro.trop. 1951.
- Dumas. L'agriculture dans la vallée du Niger. Millet ou petit mil. 1905.
- Dumont St. Mils et sorghos cultivés dans le Niger est. Agr. Trop.vol 21. 1966.
- Dumont St. Rapport annuel Haute Volta. IRAT 1967.
- Eckebil .JP. L'amélioration des céréales au Cameroun. Sols. Afri. 1970.
- Etasse Cl. Amélioration du Mil *Pennisetum* au CRA de Bambey. 1965.
- Grouzis M., Marchais L. Prospection des mils pénicillaires en Afrique de l'Ouest. Mali. 1975. (IBPGR-ORSTOM).
- Grouzis M. *Pennisetum violaceum* sensu lato. Forme, écologie, distribution géographique. Document multigr. 1976.
- Lebrun J.P., Stork A.L. Enumération des plantes à fleur de l'Afrique. vol. 3.

- Le mil en Afrique. Actes de la réunion thématique sur le mil (*Pennisetum glaucum*.L.). Montpellier 1992. Editeur S. Hamon. ORSTOM. 1993.
- Le Conte J. Les mils pénicillaires du Mali. Rapport de mission. 1966.
- Le Conte J. Situation de l'expérimentation concernant le sorgho, le mil, le maïs en Côte d'Ivoire, Dahomey, Haute Volta, Sénégal, Niger, Mali. IRAT. 1951.
- Le Conte J. Note sur l'amélioration variétale des mils au Mali. IRAT. 1963..
- Le Conte J., Clément J.C. Compte rendu de mission au Niger. 1964.
- Le Conte J., Clément J.C. Enquête sur les sorghos et mils au Tchad. Compte rendu de mission 1965.
- Marchais L., Tostain S., Amoukou I. Signification taxonomique et évolutive de la structure génétique des mils pénicillaires. Dans: Le mil en Afrique. Edité par S. Hamon. ORSTOM. 1993
- Marchal A. Les pénicillaires cultivés au Niger. Agro.Trop. n°11-12.1950
- Niqueux M. Les millets. Cah. de la rech.agr. 1950.
- Pasquereau J. Inventaire des mils et sorghos au Mali. 1966.
- Porteres R. Les appellations des céréales en Afrique. Les mils à chandelle ou mils pénicillaires. Agr. Trop. vol.6.
- Porteres R Vieilles agricultures de l'Afrique intertropicale ; centre d'origine et de diversification variétale primaire et berceaux de l'agriculture antérieurs au XVIe siècle. Agr.Trop.vol.5. 1950
- Sauger L., Bono M. Sélection rapide des plantes allogames. Un essai de sélection généalogique sans autopollinisation artificielle du mil *Pennisetum*. Agro. Trop 1953.
- Sequier J., Borgel A. Prospection des mils pénicillaires en Afrique de l'Ouest. Niger.1976. (IBPGR-ORSTOM).
- Service d'amélioration des plantes mils et sorghos. CRA.Bambey.Sénégal. Agro.Trop. 1951.
- Tostain S. Evaluation de la diversité génétique des mils pénicillaires diploïdes *Pennisetum glaucum* TDM. ORSTOM. Thès. doct. Univ. Paris Sud. 1994.
- Vinchon R. Etude sur la génétique des *Pennisetum* cultivés du Tchad. 1948.

RESSOURCES GENETIQUES ET DEVELOPPEMENT DE LA RIZICULTURE DANS LE NORD-MALI

Bezançon G.¹, Gnana S.², Maiga S.A.², Mamadou O.³ et Brétaudeau A.⁴

1 - ORSTOM, Niamey, Niger

2 - ARG T, Tombouctou, Mali

3 - ARG T, Gao, Mali

4 - IPR Katibougou, Koro, Mali

RESUME

Le projet FENU MLI 86 / CO1 a été développé au Mali dans les 6^{ème} (Tombouctou) et 7^{ème} (Gao) régions avec comme enjeu principal l'accroissement rapide de la production rizicole grâce à un meilleur contrôle de l'eau. Des mares ont été aménagées pour la culture de variétés de riz flottant appartenant à l'espèce *Oryza glaberrima* d'origine africaine et des périmètres irrigués villageois (PIV) ont été construits pour une culture plus intensive de variétés améliorées de riz asiatique introduit *Oryza sativa*. Le volet « semences » du projet a donné l'occasion de collecter les variétés traditionnelles dont certaines avaient pratiquement disparu. La diversité génétique de cette collection a été évaluée sur la base du polymorphisme enzymatique et du polymorphisme révélé par l'observation directe de caractères morphologiques. Certains caractères agronomiques tels que la photosensibilité ont également été étudiés. Une amélioration génétique par sélection massale a rapidement été obtenue pour certains caractères simples comme la taille de la panicule et a permis d'homogénéiser les dates de maturité des variétés. Parallèlement un programme d'amélioration par mutagenèse a été entrepris. La vulgarisation et la diffusion des nouvelles variétés qui seront produites par les activités de recherche du projet et des variétés cultivées dans les PIV est assurée par des groupes de paysans semenciers qui ont reçu une formation à la production de semences. La reconnaissance par le Service Semencier National de ces producteurs de semences et des semences qu'ils produisent est en cours de réalisation. L'équipe du FENU qui a piloté le projet pendant plus de 10 ans est maintenant relayée par des ONG internationales et nationales (ACORD et APROMORS) en collaboration avec l'Institut d'Economie Rurale de Bamako.

INTRODUCTION

Le Programme d'Appui à la Riziculture dans les régions de Gao et de Tombouctou (ARGT) rentre dans le cadre des actions menées par le FENU¹ au Mali qui, depuis 1980, ont été recentrées en 6^{ème} et 7^{ème} régions, très déficitaires en céréales. L'enjeu principal était d'accroître rapidement la production rizicole grâce à un meilleur contrôle de l'eau, ces actions étant accompagnées de projets visant le développement rural intégré et le désenclavement.

L'idée de départ était centrée sur les cultures de mares et visait à développer le principe de la pré-irrigation, avec la mise en place d'aménagements (digues et ouvrages) qui permettraient la sécurisation partielle de la production. C'est ainsi que dans la région de Gao 630 ha à Tobon et 192 ha à Bara ont été aménagés. A partir de 1984, les faibles crues et les déficits pluviométriques répétés ont conduit à une réorientation du projet vers la construction de petits périmètres irrigués villageois (PIV), principalement dans la région de Tombouctou. Si l'aménagement des mares n'a pas profondément transformé les pratiques culturelles traditionnelles, les PIV ont représenté une innovation dans la région, permettant une maîtrise totale de l'eau, mais impliquant la formation des riziculteurs à des techniques culturelles nouvelles (repiquage) et des transformations importantes de l'organisation sociale et économique des communautés. Malgré les faibles superficies concernées, les rendements élevés ont permis une sécurisation de la production ainsi que la relance de la culture du riz de mares (plus de 1 650 ha aménagés pour les régions de Tombouctou et de Gao).

Ces riz de mares sont en grande partie des riz flottants appartenant à l'espèce *Oryza glaberrima* qui a été domestiquée en Afrique de l'Ouest. L'ADRAO² ayant interrompu les activités de recherche sur

¹ Fonds d'Equipe ment des Nations Unies

² Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'ouest

les riz flottants qu'elle conduisait sur la station de Mopti, le FENU a logiquement décidé de développer un volet semencier dans le cadre du programme ARGT.

Le volet semencier du projet FENU a débuté en 1991 et s'est développé selon cinq grands axes :

- collecte et conservation des cultivars traditionnels de riz flottant appartenant à l'espèce *Oryza glaberrima* et constitution d'une collection de référence sous la forme d'échantillons de graines,
- caractérisations morphologique et agronomique, ainsi que sur la base de marqueurs enzymatiques, des cultivars constituant la collection de référence,
- application d'un schéma de sélection massale dans le but d'améliorer la production de ces cultivars traditionnels,
- utilisation de la technique de mutagénèse pour créer de nouvelles variétés plus performantes,
- production de semences améliorées par des paysans semenciers formés dans le cadre du projet, tant pour les riz flottants cultivés dans les mares que pour les riz dressés cultivés dans les PIV (*Oryza sativa*, d'origine asiatique), afin de sécuriser l'approvisionnement en semences de riz flottant et de riz dressé.

Ce dernier axe de recherche a pu se développer grâce à un programme de formation visant à initier un certain nombre de riziculteurs aux techniques de production de semences, tant pour les variétés traditionnelles (améliorées dans le programme de recherche) cultivées dans les mares que pour les variétés de riz dressé (appartenant à l'espèce d'origine asiatique *Oryza sativa*) cultivées dans les PIV. La reconnaissance de ces paysans semenciers par le Service Semencier National, afin qu'il puissent assurer l'approvisionnement en semences sélectionnées de qualité des autres paysans riziculteurs des 6^{ème} et 7^{ème}, a nécessité la mise en place de systèmes de production répondant aux normes définies par la structure nationale de contrôle de la qualité des semences et de leur diffusion.

PROSPECTIONS ET CONSERVATION DES CULTIVARS TRADITIONNELS DE RIZ FLOTTANT DE L'ESPECE *ORYZA GLABERRIMA* STEUD

Les résultats des différentes missions de collecte (prélèvements de graines effectués soit dans les champs quand cela était possible, soit dans les greniers) qui ont été réalisées dans les villages encadrés par le projet se sont déroulées de 1991 à 1993 dans les 6^{ème} et 7^{ème} régions de Tombouctou et de Gao au Mali, sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Bilan des collectes réalisées dans le cadre du projet.

Années	Prospecteurs	Nombre d'échantillons collectés dans la région de Tombouctou	Nombre d'échantillons collectés dans la région de Gao
1991	Shams - Bezançon	22	39
	Ousmane Mamadou	-----	20
1992	Sayfou A. Maïga	25	-----
	Ousmane Mamadou	-----	15
1993	Soumaila Gnana	15	-----
	Sayfou A. Maïga	-----	-----
	Totaux	62	74

A ces collections, il faut ajouter les collectes effectuées par les deux équipes pour le démarrage du schéma de sélection massale (prélèvements dans les champs sur la base de certaines caractéristiques de la panicule).

Les variétés collectées peuvent être classées en 3 grands groupes sur la base de la longueur de leur cycle et les noms vernaculaires de ces variétés reflètent bien cette classification agronomique :

- les jinga (tettera) : hâtifs, généralement cultivés dans les zones hautes, avec un rendement potentiel médiocre,
- les kossa : semi-hâtifs, généralement cultivés dans les zones moyennes, avec un rendement potentiel moyen,
- les dembu (haira ou mober) : tardifs, adaptés aux zones profondes, avec un rendement potentiel élevé.

On notera que d'après les paysans rencontrés à l'occasion de ces missions de collecte, un nombre important de variétés tardives a disparu.

Un catalogue rassemblant les « fiches passeport » (numéro de collection et origine de l'échantillon) a été réalisé (figure 1) pour 119 échantillons, 45 pour la région de Tombouctou et 74 pour la région de Gao, qui constituent la collection de référence.

Figure 1 : Modèle de fiche-passeport.

FICHE PASSEPORT	numéro de collection
AGENT DE PROSPECTION :	
DATE DE COLLECTE :	
NOM DU VILLAGE :	
NOM DE L'EXPLOITANT :	
NOM DE LA MARE :	
NOM DU CULTIVAR :	
CYCLE :	
ORIGINE (CHAMP OU GRENIER) :	

Les échantillons ont été testés pour leur pouvoir germinatif et, en 1995, il a été décidé d'effectuer une multiplication pour ceux dont le taux de germination était inférieur ou égal à 70%, soit 25% de la collection.

La conservation de la collection de référence, qui se faisait jusqu'à maintenant dans un simple magasin, doit être assurée dans un réfrigérateur pour garantir un bon pouvoir germinatif pour plusieurs années (conservation à moyen terme) et limiter ainsi les remultiplications à une échéance de l'ordre d'une dizaine d'années. Une conservation à plus long terme (plusieurs dizaines d'années) pourra être assurée en entreposant une partie aliquote de chaque échantillon dans le compartiment congélation du meuble réfrigérant.

CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DE LA COLLECTION

a. Matériel et méthodes

1. Matériel végétal étudié et opérations culturales.

La première caractérisation a été effectuée sur la collection de référence pendant la campagne 1992 a permis d'aboutir à une collection réduite (tableaux 2 et 3) après élimination des échantillons redondants : elle est constituée de 30 échantillons pour la région de Tombouctou et de 26 échantillons pour la région de Gao. C'est cette collection réduite qui a été évaluée de façon plus précise pendant les campagnes 1993 et 1994.

Tableau 2 : Principales corrélations obtenues entre les variables observées au cours de la caractérisation morphologique des cultivars.

Variables	LOFP/ HTOP	LOPA/ HTOP	LOPA/ LOFP	NBRA/ HTOP	NBRA/ LOPA	NBEP/ LOPA	NBEP/ NBRA	NPAP/ NTAP	CYCL/ HTOP	CYCL/ LOFP	CYCL/ LOPA	CYCL/ NBRA	CYCL/ NBEP
Coefficients de corrélation	0,56	0,62	0,70	0,71	0,80	0,78	0,90	0,75	0,87	0,62	0,68	0,74	0,73

La mise en place de l'expérimentation s'est faite dans la mare de Daye près de Tombouctou, où le contrôle de la crue était possible. Le semis est effectué en poquets (50 poquets par parcelle élémentaire) et une irrigation d'appoint est assurée jusqu'à l'arrivée de la crue. Le démariage a été réalisé en deux temps de façon à ne garder qu'une seule plante suffisamment vigoureuse par poquet.

Tableau 3 : Fréquences alléliques observées pour les locus polymorphes (la nomenclature utilisée est celle de Pham *et al.*, 1990).

Locus	Est-h		Est-7		Pox-3		Pgi-1		Pgd-1		Acp-2		Sdh-1		
Allèles	0	1	0	1	1	2	1	2	1	3	0	1	1	2	3
Fréquences	0,05	0,95	0,3	0,7	0,98	0,02	0,88	0,12	0,98	0,02	0,50	0,50	0,90	0,07	0,03

2. Caractères observés

Au niveau de chaque parcelle, 10 plantes ont été choisies au hasard dans la partie centrale afin d'éviter les effets de bordure. Les notations sont effectuées tous les deux jours jusqu'à l'épiaison. Les observations sur les panicules ont été effectuées au laboratoire. Les caractères quantitatifs sont répartis sur tout le cycle de la plante et, pour chacune des variables, les paramètres statistiques suivants ont été calculés : la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation exprimé en pourcentage qui permet d'apprécier l'homogénéité des résultats.

b. Résultats

1. Catalogue

Le premier résultat de cette expérimentation est la réalisation d'un catalogue qui rassemble les fiches de caractérisation (figure 2) de chacun des 56 échantillons. De plus, ce catalogue contient pour chaque cultivar les paramètres statistiques classiques de chacune des variables ayant servi à la caractérisation ainsi que les histogrammes de distribution de ces variables pour les deux régions de Gao et de Tombouctou. Y figurent également la représentation graphique de quelques corrélations parmi les plus significatives.

2. Analyses statistiques

a - Analyses univariées

Les mesures réalisées montrent que la seule variable pour laquelle les deux groupes de cultivars (Gao et Tombouctou) diffèrent de façon significative est la hauteur totale de la plante (HTOP), les échantillons de la région de Tombouctou étant plus haut que ceux de la région de Gao. Pour l'ensemble des autres variables, les moyennes des deux groupes ne sont pas significativement différentes et les distributions de chacune des variables sont semblables pour les deux groupes. Concernant le déroulement de la phase d'épiaison-floraison les deux groupes se comportent de manière identique.

b - Analyses bivariées

Les corrélations les plus significatives sont présentées dans le tableau 2. En dehors des corrélations naturelles entre la hauteur de la plante et la longueur de la panicule (HTOP/LOPA), la longueur de la panicule et le nombre de racèmes (LOPA/NBRA), le nombre de panicules par plante et le nombre de talles par plante (NPAP/NTAP), le nombre d'épillets par panicule et la longueur de la panicule (NBEP/LOPA) ou encore entre le nombre d'épillets par panicule et le nombre de racèmes (NBEP/NBRA), on note des corrélations assez fortes ou fortes (0,62 à 0,87) entre la longueur du cycle de la plante et : la hauteur de la plante (CYCL/HTOP), la longueur de la feuille paniculaire (CYCL/LOFP), la longueur de la panicule (CYCL/LOPA), le nombre de racèmes par panicule (CYCL/NBRA) et le nombre d'épillets par panicule (CYCL/NBEP).

Ce résultat démontre l'importance de la variable longueur du cycle (CYCL) souvent prédominante pour les paysans dans leur choix des variétés à semer dans telle ou telle mare.

Figure 2 : Fiche de caractérisation morphologique.

Nom du cultivar	Numéro de collection	
Caractères	Codes	Unités
Caractères quantitatifs		
nombre de talles par plante	NTAP	nombre
nombre de panicules par plante	NPAP	nombre
hauteur totale de la plante	HTOP	cm
nombre d'entre-nœuds	NETN	nombre
longueur de la feuille paniculaire	LOFP	cm
largeur de la feuille paniculaire	LAFP	cm
longueur de l'exertion	LOEX	cm
longueur de la panicule	LOPA	cm
nombre de racèmes	NBRA	nombre
nombre d'axilles	NBAX	nombre
nombre d'insertions d'épillets par panicule	NBEP	nombre
longueur de la graine	LOGR	mm
largeur de la graine	LAGR	mm
poids de 1 000 grains	PMGR	g
longueur totale du cycle (semis-récolte)	CYCL	jours
Caractères qualitatifs		
photosensibilité	PHST	0, 1
port de la panicule	POPA	1, 2, 3
longueur des glumes	LOGL	1, 2, 3
couleur des glumelles	CGLL	1, 2, 3
pubescence des glumelles	PUBG	1, 2
aristation	ARIS	1, 2, 3
couleur du caryopse	COCA	1, 2, 3

NTAP, NPAP et HTOP sont mesurés à la récolte

NTEN, LOFP, LAFP, LOEX, LOPA, NBRA, NBAX et NBEP sont mesurés sur le pied mère

PHST : 0 = non photosensible, 1 = photosensible

POPA : 1 = lâche, 2 = semi-compact, 3 = compact

LOGL : 1 = supérieure à 2/3, 2 = comprise entre 1/3 et 2/3, 3 = inférieure à 1/3 du grain

CGLL : 1 = paille, 2 = fauve, 3 = noir

PUBG : 1 = glabre, 2 = hispide

ARIS : 1 = aristation forte, 2 = aristation faible, 3 = non aristé

COCA : 1 = non pigmenté, 2 = rose, 3 = fortement pigmenté

c - Analyses multivariées

Nous avons utilisé les données de la caractérisation morphologique dans des analyses multivariées (ACP, CAH, AD) afin de révéler une éventuelle structuration de la variabilité génétique contenue dans l'ensemble des cultivars de la collection.

L'analyse en composantes principales (figure 3) met en évidence l'importance des variables suivantes : hauteur totale de la plante (HTOP), longueur de la feuille paniculaire (LOFP), longueur de la panicule (LOPA), nombre d'épillets par panicule (NBEP), longueur du cycle (CYCL) et poids de 1 000 grains (PMGR). D'autre part cette analyse permet de faire ressortir deux axes (composantes) principaux de variabilité qui permettent d'expliquer plus de 50% du total de la variabilité :

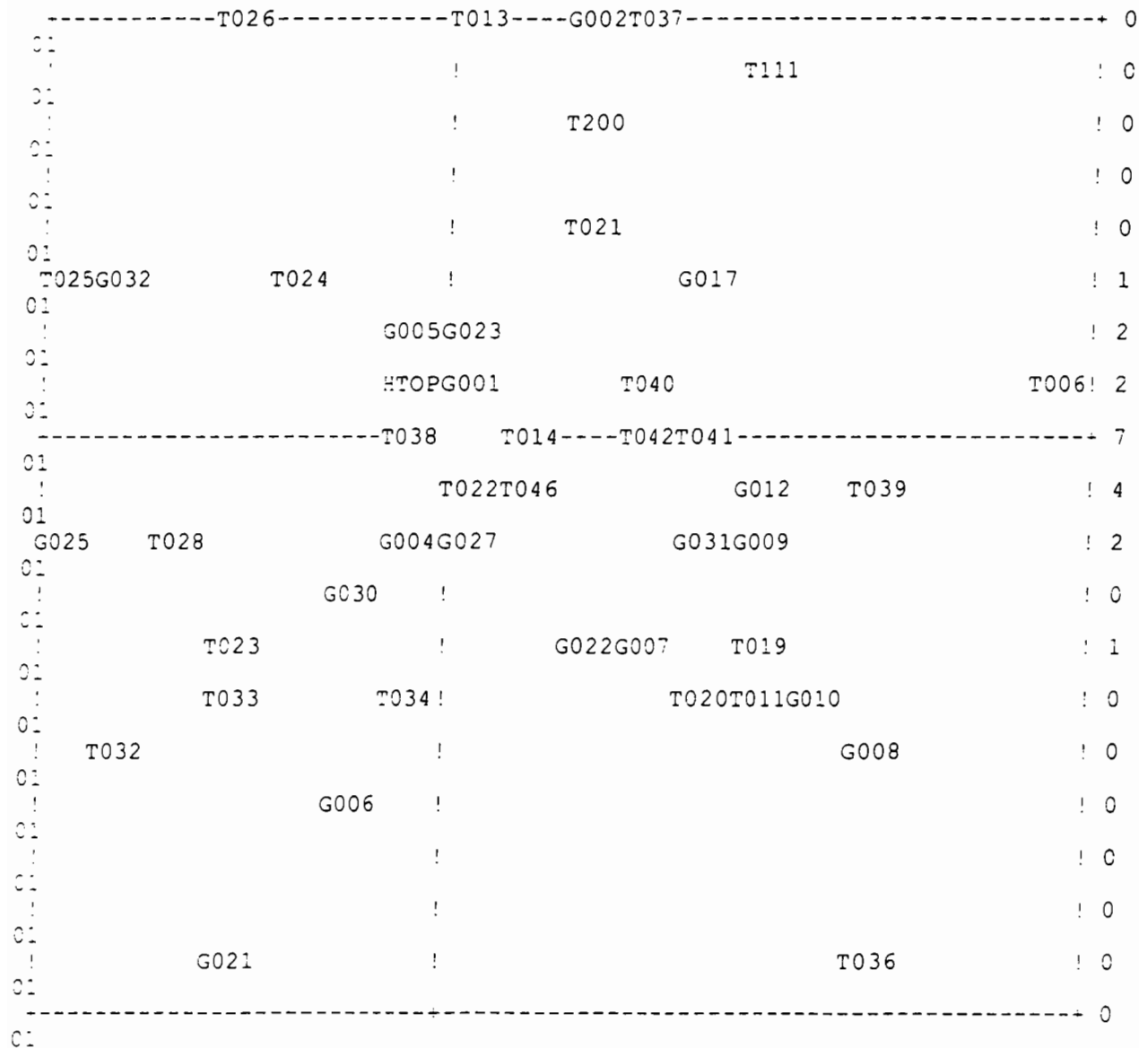
- le premier axe est constitué par les variables suivantes : HTOP, LOFP, LOPA, NBRA, NBEP et CYCL. Sur cet axe, les plantes les plus hautes et à cycle court, avec des panicules courtes peu ramifiées portant peu d'épillets sont opposées aux plantes présentant les caractéristiques contraires ;
- le deuxième axe est constitué des variables suivantes : NBAX, LOGR, LAGR et PMGR. Sur cet axe, les plantes dont les panicules possèdent peu d'axilles mais dont les grains sont gros et lourds sont opposées aux plantes présentant les caractéristiques contraires.

Néanmoins, les différentes analyses réalisées ne permettent pas de mettre en évidence une quelconque structuration que ce soit au niveau régional ou au niveau caractéristiques des cultivars.

Certains échantillons collectés dans des villages différents ont des appellations identiques :

- G004 et G030 sont appelés tous les deux LOUBI et se situent effectivement très proches l'un de l'autre,
- par contre les échantillons T011, T019, T020 et T046 portent le même nom DJINGA KORAI et l'on peut observer que si T011, T019 et T020 sont proches, T046 est éloignés des trois autres. On a la même situation pour T013 et T021 qui se nomment tous les deux KOSSA BIBI et qui ne sont pas très proches l'un de l'autre.

Figure 3 : Caractérisation morphologique. Analyse en composantes principales, représentation dans le plan défini par les axes 1 (66%) et 2 (14%).



CARACTERISATION AGRONOMIQUE

a. Sensibilité à la photopériode

1. Matériel et méthodes

La sensibilité à la longueur du jour des cultivars traditionnels de riz flottant est une caractéristique très importante car elle peut modifier la longueur du cycle des plantes en fonction de la date du semis. Le choix du matériel végétal pour le test a été fait de manière à ce que tous les cycles soient représentés. Une première expérimentation avait eu lieu en 1992-93 mais nous présenterons ici celle qui s'est déroulée pendant la campagne 1994 et a porté sur 12 cultivars originaires de chacune des deux régions. Chaque cultivar est représenté par 12 individus et la culture est conduite avec une irrigation contrôlée (augmentation de la nappe d'eau au fur et à mesure de la croissance des plantes). Les différentes dates de semis ont été décalées d'un mois afin de pouvoir apprécier l'effet des variations de la durée du jour sur l'initiation florale des cultivars. Dates de semis : 01/05/94 (S1) ; 01/06/94 (S2) ; 01/07/94 (S3) ; 01/08/94 (S4) ; 01/09/94 (S5) ; 01/10/94 (S6).

2. Résultats

Pour chacun des cultivars testés, différentes notations ont été effectuées permettant de calculer la durée de la phase végétative (DPVG), la durée de la phase d'épiaison (DPEP) ainsi que la durée totale du cycle des plantes (DCYC). Chacune de ces variables est exprimée en nombre de jours et nous les avons illustrées sous la forme d'histogrammes. Il faut remarquer que l'importance exceptionnelle de la crue n'a pas permis de réaliser les observations concernant la dernière date de semis (S6 du 01/10/94).

Le riz est une plante de jours courts, c'est-à-dire que l'initiation de la floraison est déclenchée par les jours courts, et plus particulièrement en période de longueur de jour décroissante. Un cultivar sera considéré comme non photosensible si, quelque soit la date du semis, la longueur du cycle n'est pas significativement modifiée. Par contre, un cultivar photosensible verra sa phase de floraison initiée dès que la longueur du jour aura atteint un seuil critique, et en conséquence, la longueur du cycle sera fonction de la date de semis (plus le semis sera effectué tôt, plus le cycle sera long).

D'après les résultats obtenus (figure 4) il apparaît que c'est essentiellement la durée de la phase végétative qui est affectée et l'on a pu classer les différents cultivars en 3 grands groupes :

- les cultivars non photosensibles,
- les cultivars photosensibles,
- et les cultivars considérés comme intermédiaires.

Si l'on rapproche les critères de photosensibilité et de précocité on peut se rendre compte que ce sont les cultivars présentant les cycles les plus longs qui sont les plus sensibles à la longueur du jour. Dans le groupe des cultivars semi-tardifs, il est également possible de distinguer ceux qui sont photosensibles et qui ont un cycle long (cycle pouvant dépasser 200 jours), de ceux qui sont non photosensibles et qui ont un cycle plus court (cycle inférieur à 160 jours).

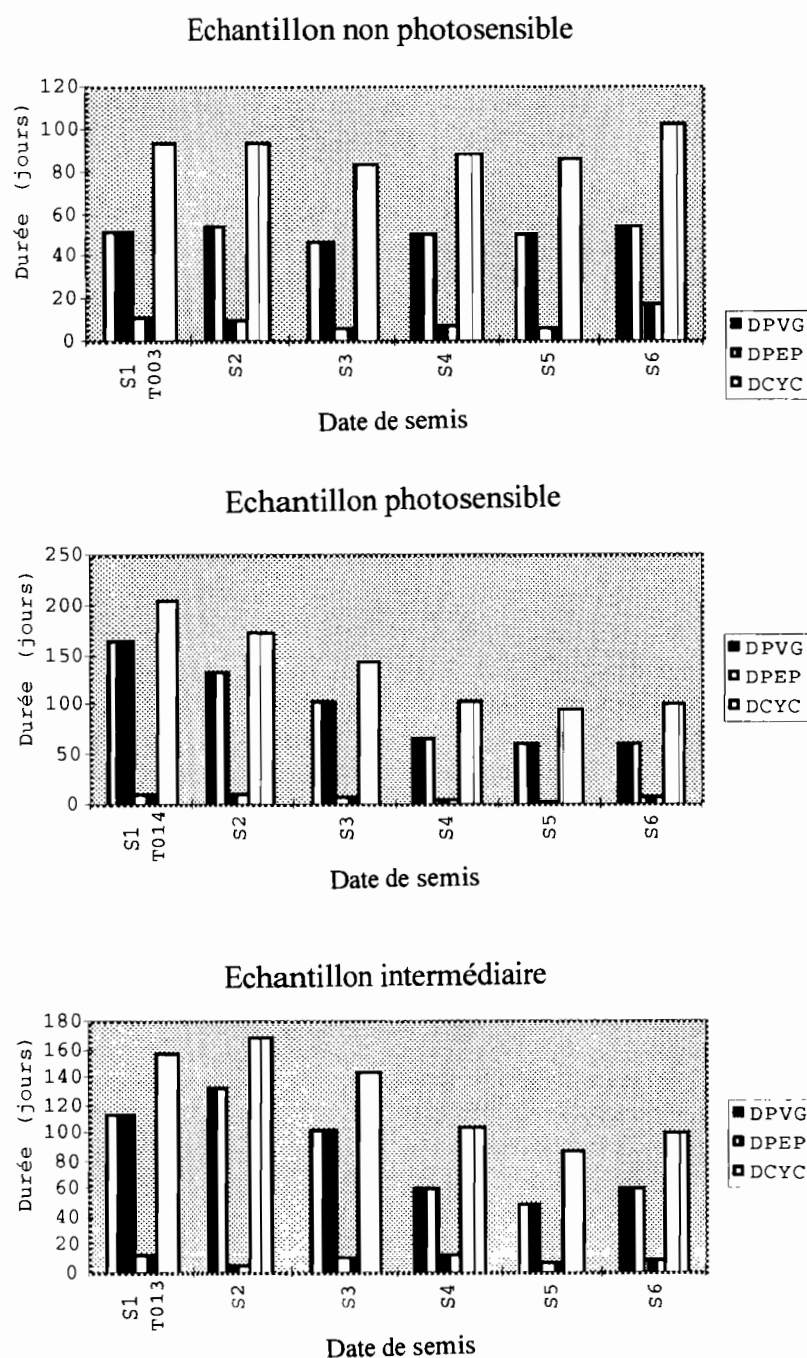
b. Résistance à l'égrenage

L'égrenage est un facteur important dans la riziculture de type flottant car les pertes qu'il engendre interviennent dès le moment de la récolte lorsque le paysan doit se rendre dans son champ à bord de sa pirogue, ainsi qu'au cours des différentes étapes post-récolte. Il est donc intéressant de pouvoir sélectionner des cultivars présentant un égrenage sinon nul tout au moins modéré. Le test a porté sur 10 cultivars représentatifs des régions de Tombouctou et de Gao. Le principe consiste à compter le nombre d'épillets restant accrochés sur la panicule après lui avoir fait subir une chute libre d'une hauteur de 1 m sur une surface de bois. Pour chaque échantillon on a appliqué le traitement à 10 panicules. On observe une variabilité intra-échantillon qui peut s'expliquer par des degrés de maturité différents pour chacune des panicules au moment de la récolte.

Le taux d'égrenage calculé varie de 16,1% à 41,6%. En fait, deux groupes d'importance très inégale apparaissent :

- groupe 1 : taux d'égrenage compris entre 16,1 et 28,3%.
- groupe 2 : taux d'égrenage compris entre 38 et 41%.

Figure 4 : Sensibilité à la photopériode.



CARACTERISATION DE LA COLLECTION A L'AIDE DU POLYMORPHISME ENZYMATIQUE

a. Matériels et méthodes

Nous avons analysé un total de 107 cultivars de la collection de référence, 56 de la région de Gao et 51 de la région de Tombouctou, à raison de 2 plantes par cultivar. La méthode utilisée est l'électrophorèse horizontale sur gel d'amidon mise au point à l'ORSTOM (Second et Trouslot, 1980). L'analyse se fait à partir de la partie verte ou de la partie blanche (encore dans la gaine) d'une jeune feuille, ou encore à partir de la partie verte d'une feuille âgée, selon le système enzymatique étudié.

Les systèmes enzymatiques que nous avons analysés sont les suivants :

- malate déshydrogénase (MDH)
- 6-phosphogluconate déshydrogénase (PGD)
- catalase (CAT)
- peroxydase (POX)
- glutamate oxaloacétate transaminase (GOT)
- estérase (EST)
- phosphatase acide (ACP)
- leucine amino transférase (LAP)
- phosphoglucose isomérase (PGI)
- endopeptidase (ENP)
- shikimate déshydrogénase (SDH)

b. Résultats

Les différentes analyses déjà réalisées sur ce type de matériel (Second, 1982 ; Bezançon, 1995) avaient montré pour l'espèce cultivée d'origine africaine *Oryza glaberrima* un polymorphisme enzymatique moindre que pour son ancêtre sauvage *Oryza breviligulata*, et moindre aussi que pour l'autre espèce cultivée (d'origine asiatique) *Oryza sativa*. D'autre part, toutes ces espèces sont très autogames, ce qui est la cause d'une variabilité intra-échantillon très faible.

Ces différentes études ont permis de mettre en évidence pour l'ensemble du genre *Oryza*, environ 45 locus codant pour des enzymes. En ce qui concerne l'espèce *O. glaberrima*, 13 de ces locus se sont révélés polymorphes et, dans notre analyse, 7 seulement ont montré du polymorphisme : deux locus (Est-h et Est-7) avec deux allèles par locus pour le système Estérase, un locus (Pox-3) avec deux allèles pour le système Peroxydase, un locus (Pgi-1) avec deux allèles pour le système Phosphoglucose isomérase, un locus (Pgd-1) avec deux allèles pour le système 6-phosphogluconate déshydrogénase, un locus (Acp-2) avec deux allèles pour le système Phosphatase acide et un locus (Sdh-1) avec trois allèles pour le système Shikimate déshydrogénase.

Les fréquences que nous avons observées pour les différents allèles de ces locus polymorphes (tableau 3) ont été utilisées dans une Analyse Factorielle des Correspondances avec les données déjà obtenues précédemment pour d'autres pays d'Afrique de l'Ouest (Sénégal, Tchad, Cameroun, Guinée, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali). Les résultats de cette analyse sont présentés dans la figure 5.

On observe une structuration en deux groupes :

- groupe 1 : Tchad, Cameroun et Côte d'Ivoire
- groupe 2 : Sénégal, Mali delta et hors-delta et Guinée.

Les échantillons des régions du Nord Mali (symbolisés par la lettre B) se situent naturellement dans le groupe 2, proches des échantillons des autres régions du Mali.

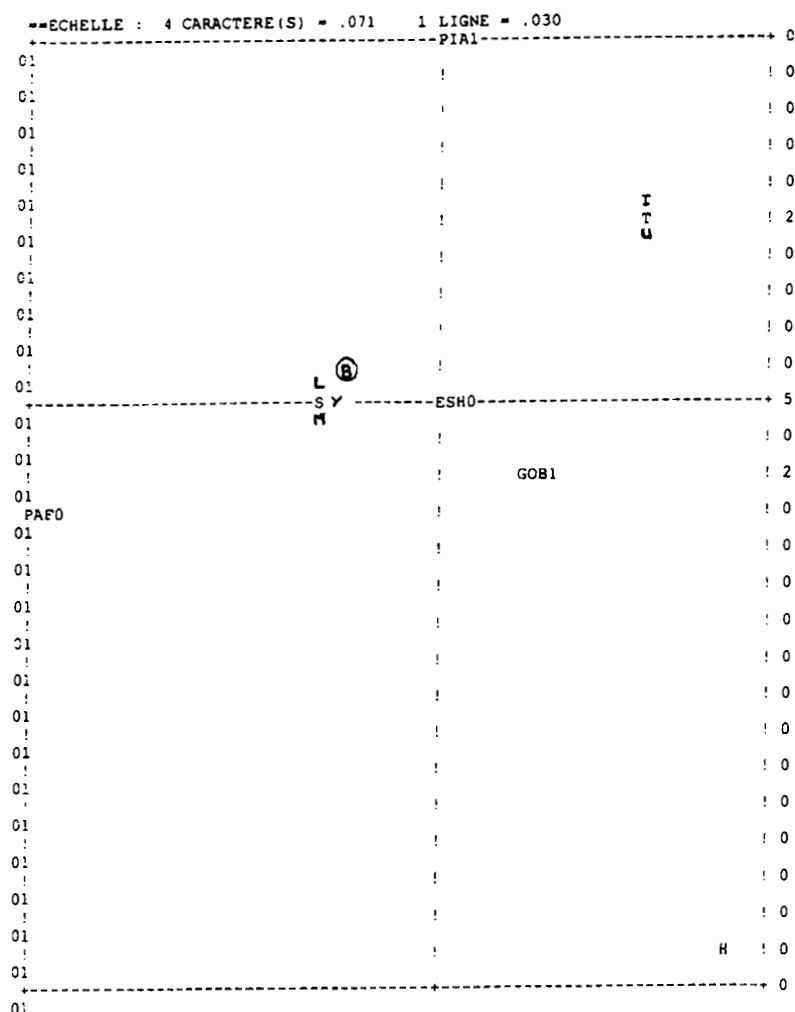
Le Burkina Faso présente une position excentrée, ce qui peut être dû à un échantillonnage trop restreint. On peut penser que dans un schéma de sélection à long terme (faisant intervenir des hybridations intra ou interspécifiques) les croisements les plus prometteurs seraient à réaliser entre cultivars appartenant à des groupes différents, pouvant créer des recombinaisons intéressantes sur le plan agronomique.

AMELIORATION VARIETALE

Lors du démarrage du volet semencier du projet FENU, il a été convenu d'ouvrir un volet sélection qui, en accord avec les équipes de Tombouctou et de Gao, serait un programme à moyen terme et devant pouvoir se réaliser sur place, avec les équipes disponibles.

Le matériel végétal de départ, objet du travail de sélection, est constitué de variétés traditionnelles rustiques et bien adaptées à l'environnement climatique, hydrologique, pluviométrique et cultural des régions du Nord Mali qu'il convenait d'améliorer pour certains critères, mais non de transformer de façon trop profonde avec le risque de modifier les associations géniques qui lui confèrent cette rusticité et cette adaptation.

Figure 5 : Caractérisation sur la base du polymorphisme enzymatique. Analyse factorielle des correspondances, représentation dans le plan défini par les axes 1 et 2



Dans ces conditions, c'est tout naturellement qu'un schéma de sélection massale a été adopté, auquel nous avons ajouté un programme de mutagenèse en espérant pouvoir provoquer des modifications ponctuelles qui pourraient se montrer intéressantes pour des caractères d'un intérêt agronomique non négligeable, comme par exemple l'absence d'égrenage.

a. Sélection massale.

1. Matériel et méthodes

Les critères de sélection que nous avons retenus sont l'homogénéité de la maturation et la taille de la panicule. C'est au champ que le choix du matériel de départ a été réalisé. Pour Gao, 16 cultivars ont été retenus présentant des longueurs de cycle différentes, alors que pour Tombouctou 26 cultivars ont été choisis. A Gao, l'expérimentation est réalisée dans une mare du village de Gouthine et, à Tombouctou, dans la mare de Daye : on a pratiqué un semis direct dans les deux localisations. Lors du premier cycle de sélection (1993), chaque cultivar était représenté par une seule parcelle de 9 m² semée avec un vrac de graines issues des dix meilleures panicules sélectionnées.

Pour le deuxième cycle (1994), on a retenu au moment de la récolte 50 panicules répondant aux critères de sélection et les 10 meilleures ont servi à l'implantation. Pour cette campagne, la modification suivante a été adoptée : les parcelles unitaires ne sont plus constituées d'un vrac de graines, mais semées de 10 lignes correspondant aux dix meilleures panicules retenues, cela afin de faciliter le travail au niveau du choix au moment de la récolte.

2. Résultats

Les notations concernant l'épiaison ainsi que les mesures concernant les panicules ont été effectuées, ce qui nous permet, en comparant les résultats obtenus sur les deux cycles de sélection, de mesurer le progrès réalisé. A Gao, certains cultivars montrent des différences positives et significatives pour les caractères de longueur de la panicule et du nombre de grains par panicule. Pour tous les autres cultivars, les situations sont intermédiaires, les deux caractères ne variant pas simultanément ou pas dans le même sens.

En ce qui concerne les résultats de l'expérimentation conduite à Tombouctou, parmi les 26 cultivars testés, seuls 4 montrent une amélioration significative du nombre d'épillets par panicule : ces cultivars appartiennent au groupe des « DJINGA » (précoces). Pour plus de la moitié des échantillons testés on observe une diminution de nombre de grains par panicule qui peut atteindre près de 50% (T028). Ce résultat pourrait s'expliquer par la crue exceptionnelle de la campagne 1994 (amplitude importante et arrivée rapide : 2 à 10 cm d'eau par jour) qui a pu provoquer un développement végétatif excessif des plantes au détriment de la partie reproductrice (panicule) limitant ainsi le nombre de grains produits. Ce phénomène a été observé de façon générale dans la région de Tombouctou lors de cette campagne.

Globalement, on peut dire que l'amélioration obtenue pour la majorité des cultivars locaux au niveau de l'homogénéité et la description agronomique affinée de ces mêmes cultivars sont des acquis importants de l'avis même des paysans qui trouvent là une meilleure reconnaissance des nouvelles lignées. Ils ne disposaient auparavant que de variétés très hétérogènes. C'est ainsi que 13 variétés améliorées ont été obtenues à partir du matériel utilisé dans cette sélection.

Ces résultats montrent qu'en suivant un schéma de sélection massale il est possible d'arriver rapidement à améliorer un certain nombre de caractères relativement simples, mais importants pour la production de paddy.

b. Mutagenèse

1. Objectifs

L'utilisation de cette technique pour la création d'une nouvelle variabilité visait essentiellement les caractères d'égrenage, de précocité, de taille de la plante (afin de mieux supporter les crues importantes), les caractéristiques de productivité (taille de la panicule et nombre de grains par panicule). Dans un deuxième temps, d'autres critères ont été pris en compte tels que la non pigmentation du caryopse (pour les besoins du marché), le tallage et la vitesse d'elongation des tiges (pour mieux supporter les périodes de montée très rapide de la crue).

2. Matériel et méthodes

Quatre cultivars de la région de Tombouctou et trois de la région de Gao ont été retenus pour cette expérimentation. Le traitement aux rayons γ émis par le Cobalt 60 a été réalisé à l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique à Vienne selon trois doses : 200, 250 et 300 grays. Ce sont des échantillons de 500 g de paddy qui ont été traités. Un lot témoin de 100 g de paddy n'a pas subi le traitement mais a néanmoins fait le voyage à Vienne.

3. Dispositif expérimental et observations

Nous ne parlerons ici que de l'expérimentation conduite à Gao. A Tombouctou, aucune graine n'a germé, ce qui pourrait être dû au fait que la période écoulée entre la date du traitement (26 avril) et la date de semis (27 juillet) ait été trop longue (à Gao le semis ayant été effectué plus tôt). Le dispositif est un carré latin avec des parcelles élémentaires de 50 m².

Les observations ont porté sur les caractères suivants :

- Nombre de jours entre le semis et 50% de levée,
- Nombre de jours entre le semis et 50% d'épiaison,
- Nombre de jours entre le semis et 50% de maturité.

Le semis a été effectué en ligne avec un écartement de 20 cm entre les lignes.

4. Résultats

La germination et le développement des plantules ont été sinon normaux tout au moins satisfaisants, permettant en tout cas d'effectuer les observations prévues. Les résultats montrent :

- d'une part que l'augmentation de la dose de rayons augmente le taux de mortalité (tableau 4),
- d'autre part que le traitement aux rayons semble rallonger le cycle de la plante (tableau 5).

Tableau 4 : Taux de germination obtenu à Gao pour les différents cultivars après traitement mutagène.

Cultivars	Traitements			TEMOINS
	200 GY	250 GY	300 GY	
Mala	75%	70%	30%	100%
Weyeninacorbia	80%	15%	15%	100%
Barkanay chebo	50%	70%	70%	100%

Tableau 5 : Durée de la phase semis / epiaison observée à Gao pour les différents cultivars après traitement mutagène.

Variétés	Mala		Weyeninacorbia		Barkanay chebo	
Traitements	Semis 50% epiaison (jours)	Semis 100% epiaison (jours)	Semis 50% epiaison (jours)	Semis 100% epiaison (jours)	Semis 50% epiaison (jours)	Semis 100% epiaison (jours)
200 gy	88	118	113	145	128	150
250 gy	92	130			132	150
300 gy	93				132	150
Témoins	84	103	112	136	128	150

Pour les trois variétés utilisées, au stade de la M2, des caractéristiques importantes de la plante telles que la précocité, la résistance à l'égrenage, le tallage, la vitesse de croissance des talles et la longueur de la panicule semblent touchées (tableau 6), ce qui permet d'envisager une augmentation substantielle du rendement des cultivars modifiés. Les résultats obtenus pour les caractéristiques de vigueur à la levée et de taille ont été moins satisfaisants.

Tableau 6 : Mutations observées dans les descendance M2 des trois cultivars ayant subi le traitement mutagène (+ mutation observée ; - mutation non observée ; les colonnes sans signes correspondent à des descendance létales).

Variétés	Barakanay chebo			Weyeninacorbia			Mala		
Doses	200 GY	250 GY	300 GY	200 GY	250 GY	300 GY	200 GY	250 GY	300 GY
mutant chlorophyllien	+	+	+	+	+	+	+	+	+
vigueur à la levée	-	-	-	-			+	+	
vitesse de croissance	+	+	+	+			+		
tallage	+	+	+	+			+	+	
réduction de taille				+			+	+	
augmentation de taille	+	-	-	+			-	+	
précocité	+	-	+	+			+	+	
longueur panicule	+	+	+	+			+	+	
couleur de la graine	+	+	+	+			+	+	
égrenage	-	-	+	+			+	+	

PRODUCTION DE SEMENCES

L'approvisionnement en semences, tant de riz flottant traditionnel que de riz dressé, est souvent problématique pour les riziculteurs des 6^{ème} et 7^{ème} régions, que ce soit en quantité ou que ce soit en qualité. Ce problème, lié à la situation d'enclavement de ces régions et à l'action limitée des structures

établies pour la production de semences, est d'autant plus aigu que les mauvaises conditions pluviométriques et hydrologiques limitent les productions, en particulier pour les variétés de riz flottant. Cette situation, ajoutée aux difficultés à estimer de façon relativement précise les surfaces à emblaver et au problème de coût et de qualité des semences, a trop souvent conduit de nombreux paysans à renoncer à la riziculture. C'est dans ce contexte que le volet « production de semences » du programme ARGTE a été initié.

Les objectifs fixés étaient les suivants :

- la formation des paysans aux techniques de production de semences et la mise en place d'infrastructures permettant cette production dans de bonnes conditions,
- la sécurisation de l'approvisionnement suffisant en semences,
- l'augmentation puis le maintien du niveau de la qualité des semences,
- et, enfin, la gestion des récoltes et la constitution de stocks de sécurité en relation avec une politique de prix favorisant le développement et la vulgarisation du système.

a. Formation

Le programme a été initialisé en octobre et poursuivi en 1993. Les « paysans semenciers » ont été initiés à la biologie de la reproduction du riz, au concept de semence, aux normes de qualité des semences, à l'organisation de la production semencière ainsi qu'aux techniques de production. Le premier cycle de formation (1992) a été assuré conjointement par les cadres de l'équipe ARGTE et par la direction régionale de l'agriculture. Le deuxième cycle de formation (1993) a été dispensé par le directeur de LABOSEM (contrôle de la qualité des semences, IER³). Le thème de cette deuxième session de formation touchait plus particulièrement les techniques de contrôle des semences (conditions d'installation des champs semenciers, appréciation des différents facteurs de pollution et périodes de contrôle au champ).

Pour la région de Tombouctou, cette formation a touché 28 paysans multiplicateurs (2 par village) pour le riz flottant et 12 pour le riz dressé. Sur un total de 56 paysans ayant commencé le programme de formation, 47 sont aujourd'hui en activité, 35 pour le riz flottant et 12 pour le riz dressé. 40 paysans sont à recycler et 7 sont à former. A Gao, ce sont 39 paysans qui ont pu bénéficier de cette formation (un seul cycle) principalement pour la production de riz flottant.

b. Les infrastructures

Le projet avait prévu la construction de magasins de stockage pour chacun des villages encadrés. La situation actuelle concernant les infrastructures est représentée dans les tableaux 7 et 8. Des équipements de base (batteuses, bascules, palettes) ont également été fournis.

Tableau 7 : Infrastructures et activités semencières dans la région de Tombouctou.

Villages	Sites de culture	Infrastructures	Activités semencières
Koumey Koukou	M.S.C.	Magasin (en cours)	riz flottant
Kagha	M.S.C.	-----	riz flottant
Djinjina Koïra	M.S.C.	Magasin (25 m ²)	riz flottant
Bourem Inaly	M.S.C.	Magasin (celui du P.I.V.)	riz flottant
Bori	M.S.C.	Magasin (25 m ²)	riz flottant
Aglal	P.I.V.	Magasin	riz dressé
Hondobomo Ababer	P.I.V et M.S.C.	Magasin (+ 1 en cours)	riz dressé et riz flottant
Toya	M.S.C.	Magasin (en cours)	riz flottant

³ Institut d'Economie Rurale

Outre ces magasins, le projet a également construit, pour la région de Tombouctou, le complexe de Alkorondiafia qui abrite le Comité de Coordination des Associations Villageoises (CCAV) et qui est composé des éléments suivants : un logement, un bâtiment administratif avec salles de réunion, deux grands magasins. Pour la région de Gao, le projet a construit le complexe de TOBON composé des éléments suivants : une maison d'habitation, une salle de réunion, un magasin de stockage pour le matériel, un magasin de stockage pour le riz flottant (25 m²), un magasin de stockage pour le riz dressé (100 m²) et un puits.

Tableau 8 : Infrastructures et activités semencières dans la région de Gao.

Villages	Sites de culture	Activités semencières
Ile de Tobon (rassemble 4 villages)	P.I.V. ¹ et M.S.C. ²	riz dressé et riz flottant
Tanal	M.S.C.	riz flottant
Gouthine	M.S.C.	riz flottant

(1) Périmètre Irrigué Villageois

(2) Mare de Submersion Contrôlée

Au niveau de chaque magasin un comité de gestion élu pour une durée de 1 an est mis en place par les riziculteurs. Ce comité est composé d'un trésorier et son adjoint, d'un magasinier et son adjoint : les membres de ce comité ont reçu une formation particulière. Les semences sont vendues au comptant et un stock de sécurité représentant 1/3 de la production est conservé.

c. La production de semences de variétés améliorées

Nous présentons ici la situation observée pour la région de Tombouctou, la mise en place des comités de gestion ayant été mis en place plus tardivement dans la région de Gao.

1. Riz flottant

Quatre villages ont commencé la multiplication de semences pendant la campagne 1992-93. Les semences de base (250 kg par village) ont été fournies par le projet mais elles ont été choisies par les paysans au niveau de chacun des villages, puis triées manuellement. Les premières productions reconnues de bonne qualité (après contrôle) ont été achetées par le projet pour servir de stock de départ ; les quantités produites étaient variables selon les villages. Au cours de la campagne 1993-94 quatre nouveaux villages ont commencé la multiplication de semences. Toutes les variétés multipliées actuellement sont des variétés locales (triées et épurées), aucune variété issue de la sélection n'ayant encore été fournie.

Au niveau de chaque magasin, 1/3 de la production doit être conservé pour constituer le stock de sécurité. En 1995, pour l'ensemble des villages, la totalité du stock de semences constitué par le projet se montait à 21 129 kg ce qui permet de couvrir les besoins pour une surface de 264 ha si l'on se base sur une densité de semis de 80 kg/ha.

2. Riz dressé

La multiplication de semences a débuté au cours de la campagne 1992-93 avec 6 paysans semenciers dans le village de Hondobomo Ababer. Ces paysans ont reçu de la semences G4 de la variété BG 90-2. La surface totale était de 1,5 ha soit 0,25 ha et 10 kg de semences par paysan. La production (R1) a été vendue aux Associations Villageoises par le Comité de Coordination des Associations Villageoises. Un stock de 216 kg de ces semences R1 a été conservé pour la multiplication des trois campagnes suivantes (1993-94, 1994-95 et 1995-96) à raison de 72 kg par campagne : le stock sera renouvelé au cours de la campagne 1996-97.

Au cours de la campagne 1993-94, la multiplication de semences s'est étendue à d'autres villages et de nouvelles variétés ont été testées (D52-37 et Gambiaka), mais sans succès. Là encore des stocks de semences R1 ont été constitués.

Des missions réalisées par le chargé de programme de multiplication accompagné des délégués de la commission semencière du CCAV ont permis de contrôler la qualité et le conditionnement des semences produites, ainsi que de fixer les prix de vente des semences. Pour la qualité des semences, les résultats ont été les suivants :

- Village de Hondobomo Ababer PV = 95,2% TG = 73,6% VC = 70,06%
 - Village d'Aglal PV = 88,25% TG = 91,75% VC = 80,98%
- (PV : pureté variétale, TG : taux de germination et VC: valeur culturale PVxTG).

Quand les semences produites sont de trop mauvaise qualité, elles sont déclassées. En 1995, les quantités de semences disponibles étaient les suivantes :

- Village de Hondobomo Ababer : 5 830 kg de semences R2 de la variété BG90-2
- Village d'Aglal : 2 591 kg de semences R2 de la variété BG90-2

BILAN DES ACTIVITES CONDUITES DANS LE CADRE DU VOLET SEMENCES

Après les différentes missions de collecte des cultivars traditionnels de riz flottant dans les 6^{ème} et 7^{ème} régions du Mali et après quatre campagnes d'expérimentations, le bilan du volet semencier du projet ARGTE peut être considéré comme assez satisfaisant, même si plusieurs actions de recherche ont dû être réalisées dans des conditions parfois très difficiles, voire dangereuses. La concertation entre les deux équipes de Gao et de Tombouctou n'a pas toujours été suffisamment forte, ce qui a conduit à des résultats inexploitablement représentant une perte d'énergie dommageable.

Une collection de près de 130 échantillons représentant des cultivars de riz flottant a été rassemblée. Elle constitue un patrimoine génétique important et précieux qu'il faut maintenant conserver dans de bonnes conditions, principalement en ce qui concerne les cultivars les plus menacés de disparition (les plus tardifs).

Cette collection est maintenant bien caractérisée d'un point de vue de la morphologie des plantes et également de leur sensibilité à la longueur du jour, critère très important pour le choix des variétés par les paysans. En ce qui concerne l'égrenage, les expérimentations devront être reprises ultérieurement sur la base de protocoles mieux élaborés. Les différents cultivars pourront être testés pour leur tolérance à la sécheresse.

L'analyse du polymorphisme enzymatique n'a pas révélé une structuration particulière de la diversité, mais a confirmé les résultats obtenus grâce aux caractères morphologiques, à savoir que les cultivars des deux régions ne constituent pas des entités différentes mais un ensemble relativement homogène et génétiquement proche des cultivars traditionnels de la région du delta du fleuve Niger. Dans des programmes d'amélioration variétale à plus long terme ils pourraient être utilisés en combinaison (hybridations intra et interspécifiques) avec des cultivars d'origines différentes et relativement éloignées.

Les premiers résultats obtenus au niveau de la sélection massale sont encourageants et on devrait être en mesure très rapidement maintenant de pouvoir assurer la multiplication et la diffusion de quelques variétés améliorées par cette méthode.

Le demi échec enregistré dans l'expérimentation sur la mutagenèse ne devrait pas se reproduire si l'on raccourcit le délai entre le traitement des semences et le semis. La deuxième génération conduite à Gao en 1995 a donné un aperçu de ce que l'on peut obtenir dans ce domaine.

Concernant la production de semences, on doit reconnaître que les paysans semenciers font de très gros efforts pour fournir des semences de qualité. Il est très important que le suivi de ces paysans semenciers par les encadreurs du projet soit rigoureux et fréquent. Les quantités de semences fournies sont souvent insuffisantes par rapport aux surfaces à emblaver.

Le projet devrait très bientôt être en mesure de distribuer des variétés issues de la sélection massale. Il faut continuer à sensibiliser les paysans sur l'importance du rôle des stocks de sécurité afin de ne pas se retrouver dans des situations comme celles que l'on pouvait rencontrer au démarrage du volet semencier, à savoir que certaines variétés avaient pratiquement disparu.

VALORISATION ET CONSERVATION DES RESSOURCES GENETIQUES D'ORYZA GLABERRIMA

Les différentes études qui ont été réalisées jusqu'à maintenant ont montré que la diversité génétique au sein du complexe *Glaberrima* (constitué de l'espèce cultivée *O. glaberrima* et les formes sauvages et adventices de son ancêtre sauvage direct *O. breviligulata*) est moindre que celle dont disposent l'espèce cultivée d'origine asiatique *O. sativa* et les formes sauvages qui lui sont apparentées. Cependant, l'exploitation plus approfondie de la diversité et de la richesse adaptative d'*O. glaberrima* pourrait être possible par des hybridations interspécifiques avec l'espèce cultivée asiatique introduite depuis plusieurs siècles en Afrique, mais aussi avec l'espèce sauvage pérenne *O. longistaminata* très largement répandue sur le continent africain, et dont on sait qu'elle représente un réservoir très important de variabilité (Ghesquière, 1988). Les brassages génétiques ainsi réalisés devraient conduire à l'obtention d'un matériel présentant une meilleure valeur du point de vue agronomique. Les techniques de marquage moléculaire, d'haplo-diplo-méthodes ainsi que les analyses de QTL (Quantitative Trait Loci) devront être intégrées dans les schémas d'amélioration basés sur ce principe d'hybridations larges.

Sans s'opposer fondamentalement à ces méthodes d'« amélioration génétique » plus classiques, les activités conduites et les résultats obtenus dans le cadre du projet ARGT correspondent plus au cadre général de la conservation *in situ*. Il y a une dizaine d'années la riziculture, qui représentait pourtant une activité paysanne traditionnelle très ancienne, avait pratiquement disparu des régions de Tombouctou et de Gao et, avec, elle un bon nombre des variétés d'origine africaine adaptées à l'environnement local. La situation a été inversée grâce à la prise de conscience de l'importance de cette culture pour la fixation des populations locales dans une période politiquement troublée et à l'installation progressive de structures permettant son redéploiement dans un contexte intégrant tous les facteurs socioculturels. Sans le savoir, les promoteurs du projet ont mis en place un système de conservation par les paysans (« on-farm conservation » pour les anglophones) de la diversité génétique des variétés d'*O. glaberrima* de type flottant de cette zone de la boucle du fleuve Niger. Ce type de conservation se veut dynamique par opposition à la conservation statique *ex situ* des grandes collections organisées en banques de gènes, tant au niveau national qu'international. Il doit prendre en compte les processus qui conduisent à la création et au maintien de la diversité et promouvoir l'adaptation des ressources génétiques par l'utilisation de ces processus évolutifs. Il ne doit pas non plus laisser pour compte les facteurs qui affectent le polymorphisme tels que les mutations, la dérive génique, les migrations et les introgressions (flux de gènes).

De nombreuses données restent encore à acquérir, notamment sur les échanges géniques entre variétés (intra et interspécifiques), entre les variétés cultivées et les formes sauvages, ainsi que sur les conséquences de la gestion paysanne des variétés (échanges de variétés, choix des semences, techniques culturales,...). La création permanente de variabilité pourrait être assurée par l'introduction de variétés performantes utilisées non pas en tant que telles mais comme géniteurs. La mesure de l'impact en terme d'amélioration des variétés traditionnelles sera riche d'enseignements sur les flux de gènes mis en jeu.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Monsieur Patrice Vandenberghe, initiateur et Consultant Technique Principal du projet ARGT jusqu'en 1995 ainsi que tous les membres des équipes de Gao et de Tombouctou et plus particulièrement Messieurs Wim Schreurs et Bernard Crabbe qui ont eu la lourde tâche de coordonner les différentes activités sur le terrain. Enfin, nos remerciements vont à l'ensemble des paysans des villages encadrés par le projet à qui nous dédions ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- ARGT - Programme semencier. Août 1992.
- ARGT - Rapport d'activité 1992. Septembre 1993.
- ARGT - Présentation des réalisations du FENU dans la région de Tombouctou. 10/1993.
- ARGT - Gao. Rapport annuel 1994. Février 1995.
- ARGT - Tombouctou. Etude de rentabilité économique des Périmètres Irrigués Villageois réalisés avec l'appui financier du FENU. Mai 1995.

- Bezançon G. Le riz cultivé d'origine africaine *Oryza glaberrima* Steud. et les formes sauvages et adventices apparentées : diversité, relations génétiques et domestication. T.D.M. n°115. Editions de l'ORSTOM. 1995.
- Bezançon G. - Rapports de mission. 02/11/ 93 au 09/11/93 et 05/02/94 au 27/02/94.
- Bezançon G. - Rapport de synthèse 1991-1995 (août 1995)
- Bretaudeau A. - Rapport de mission (12-20 octobre 1995)
- Crabbe B. - Programme semencier : protocoles expérimentaux pour la campagne 92 à Tombouctou.
- Crabbe B. - ARG.T. Etat des réalisations 1984-1994. 10 années d'évolution des systèmes de production.
- Ghesquière A. - Diversité génétique de l'espèce sauvage de riz *Oryza longistaminata* A Chev. et Rœhr. et dynamique des flux géniques au sein du groupe *Sativa*. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Paris Sud, Centre d'Orsay. 228p.
- Gnana Soumaïla - ARG.T : Programme semencier du Projet FENU MLI/86/CO1. Collection, préservation et amélioration des variétés locales d'*Oryza glaberrima*. Protocoles expérimentaux pour la campagne 1993 à Tombouctou. Novembre 1993.
- Gnana Soumaïla - ARG.T : Programme semencier du Projet FENU MLI/86/CO1. Collection, préservation et amélioration des variétés locales d'*Oryza glaberrima*. Protocoles expérimentaux pour la campagne 94 à Tombouctou.
- Gnana Soumaïla - ARG.T : Programme semencier du Projet FENU MLI/86/CO1. Rapport du test de résistance à la sécheresse. Juillet 1994.
- Gnana Soumaïla - ARG.T : Programme semencier du Projet FENU MLI/86/CO1. Test de sensibilité de *Oryza glaberrima* à l'égrenage au moment de la récolte. Version provisoire. 23 novembre 1994.
- Gnana Soumaïla - ARG.T : Programme semencier du Projet FENU MLI/86/CO1. Rapport du test de la sensibilité des cultivars à la photopériode. Version provisoire. 23 décembre 1994.
- Gnana Soumaïla - ARG.T : Programme semencier du Projet FENU MLI/86/CO1. Rapport d'amélioration des variétés d'*Oryza glaberrima*. Janvier 1995.
- Gnana Soumaïla - ARG.T : Programme semencier du Projet FENU MLI/86/CO1. Rapport de caractérisation des cultivars de riz flottant d'*Oryza glaberrima*. Version provisoire. janvier 1995.
- Gnana Soumaïla - ARG.T : Programme semencier du Projet FENU MLI/86/CO1. *Oryza glaberrima* : un avenir relativement sûr pour les riziculteurs des régions nord du Mali. Résultats de deux années d'intenses travaux de caractérisation variétale réalisés par le projet ARG.T à Tombouctou. Janvier 1995.
- Gnana Soumaïla - ARG.T : Programme semencier du Projet FENU MLI/86/CO1. Catalogue des cultivars de collection, Gao et Tombouctou. Février 1995.
- Ousmane Mamadou. ARG.T - Gao. Rapport d'activité : volet semencier. Janvier 1995.
- Ousmane Mamadou. ARG.T - Gao. Catalogue des « fiches passeport » de la collection de Gao.
- Ousmane Mamadou. ARG.T - Gao. Protocole et plan d'essai n°01 / 95.
- Ousmane Mamadou. ARG.T - Gao. Protocole et plan d'essai n°02 / 95.
- Ousmane Mamadou. ARG.T - Gao. Fiches d'identification des cultivars locaux de riz flottant (avec photos). Juillet 1995.
- Pham J.L., Glaszmann J.C., Sano R., Barbier P., Ghesquière A. et Second G. (1990). Isozyme markers in rice: genetic analysis and linkage relationships. *Genome* 33: 348-359.
- Sayfou Alassane Maiga - Rapport trimestriel. Janvier-Février-Mars 1995. Programme semencier, Multiplication variétale.
- Schreurs W. - Aménagements des mares de riz flottant dans les régions 6 et 7 du Mali. FENU MLI/86/CO1. Janvier 1994.
- Second G. (1982) - Origin of the genetic diversity of cultivated rice (*Oryza* spp.), study of the polymorphism scored at 40 loci. *Japan. J. Genetics* 57:25-57.
- Second G. et Trouslot P.- Electrophorèse d'enzymes de riz (*Oryza* sp.). Travaux et documents de l'ORSTOM N°120. Editions de l'ORSTOM, 1980.
- Shams G. et Bezançon G. - Rapport de mission. 21/10/91 au 16/11/91.

EXPLOITATION DES RESSOURCES GENETIQUES DES ESPECES MARAICHIERES TROPICALES ET DE L'OIGNON (*ALLIUM CEPA* L.)

Seck A.

TECHNISEM-TROPICASEM, Dakar, Sénégal

INTRODUCTION

Les cultures maraîchères bien implantées en Afrique, se développent au Sénégal malgré les contraintes ; elles englobent deux groupes d'espèces :

- les plantes maraîchères de type européen introduites depuis plus d'un siècle et demi dans les systèmes culturels et l'alimentation des populations urbaines. Leur culture se heurte à des problèmes spécifiques à la zone tropicale.
- les plantes maraîchères dites autochtones ou de type africain, plus ou moins diversifiées et généralement domestiquées en zone tropicale. Elles jouent un rôle déterminant dans l'alimentation et la nutrition des communautés rurales.

Ce dernier groupe d'espèces, auparavant négligées dans les programmes de recherche et de développement et donc mal connues, est aujourd'hui de plus en plus pris en compte (importance économique et nutritionnelle, érosion génétique). Le groupe TECHNISEM et filiales sont spécialisés dans le domaine des semences maraîchères en zone tropicale ; il tente à travers son programme de recherches mis en place entre 1991 et 1996 de contribuer à la résolution des problèmes liés à la culture des espèces qui y sont cultivées. Ce programme technique basé au Sénégal couvre les besoins des différentes filiales installées en Afrique et en Asie du Sud-Est.

Nous tenterons dans ce document de présenter le programme du groupe à travers ces espèces et dans ses grandes lignes, les contraintes et les orientations.

DONNEES GENERALES

1. Revue des espèces tropicales et nomenclature - Elles se répartissent en 3 groupes principaux suivant l'usage : fruits, feuilles et racines/tubercules (tableau 1).

Tableau 1 : Exemples de légumes autochtones (Source : Seck, 1996).

Noms français	Noms latins	Noms vernaculaires	Famille botanique	Partie consommée Fruits (F), feuilles (f)	Spontané=S cultivé=C ± cultivé=(C)	Observations
Aubergine africaine	- <i>Solanum aethiopicum</i> - <i>S. anguivi</i> - <i>S. macrocarpon</i>	Jaxatu/ xuluŋe	Solanacée	F, f	C	Espèce diploïde (2n=24) <i>S. aethiopicum</i> comprend 4 sous espèces), <i>S. anguivi</i> connu en zone humide.
Amaranthe	<i>Amaranthus</i> spp.	mboro- mboro	Amaranthacée	f	S (C)	Plante mieux connue dans le sud du Sénégal
Gombo	<i>Abelmoschus</i> spp.	kanja	Malvacée	F	C	2 espèces cultivées <i>A. esculentus</i> (2n=72, 144) et <i>A. caillei</i> (2n=200, espèce ouest africaine)
Oseille de Guinée (roselle)	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	bisaab	Malvacée	f (1)	C	2 var. botaniques : <i>altissima</i> (textile) et <i>sabdariffa</i> (alimentaire). Espèce tétraploïde (2n=72).

(1) : les calices des variétés rouges et vertes sont utilisés comme sirop et condiment dans divers plats.

2. Importance économique

2.1. Espèces tropicales

2.1.1. Production

Ces légumes originaires de zones à climat tropical s'adaptent moins bien en conditions fraîches. Leur production plus importante en hivernage est axée sur des variétés peu sélectionnées dans des systèmes culturaux extensifs.

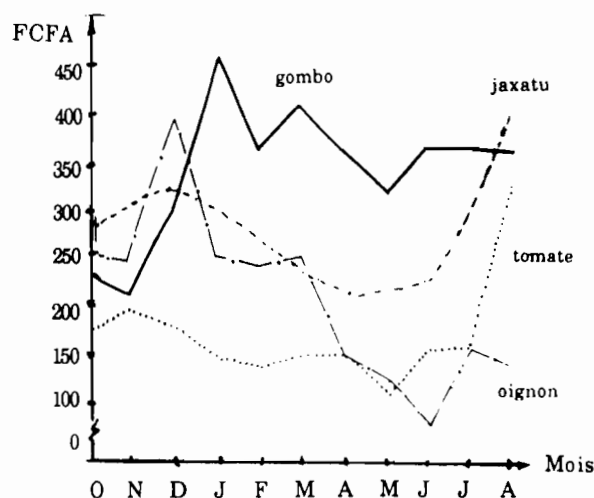
Les productions respectives de ces légumes sont souvent réduites comparées à certaines espèces de type européen (tomate et oignon). Initialement destinées au marché local, elles sont actuellement exportées (légumes exotiques) vers l'Europe. Le tableau 2 donne quelques statistiques sur leur production et leur utilisation.

Tableau 2 : Quelques statistiques de production pour 1993-1994 (Source : Direction de l'Horticulture, 1996, citée par Seck, 1995).

Espèces	Superficie (ha)	Production en tonnes		Fréquence d'utilisation/par semaine (Banlieue Dakar)
		fruits/calices	feuilles (estimée)	
Gombo (<i>Abelmoschus</i> spp)	600	8 000	7 000-9 000	5
Aubergines africaines (<i>Solanum</i> spp.)	350	4 200	5 000-8 000	6
Roselle <i>Hibiscus sabdariffa</i>	100	50	1 000 à 1 500 T	8

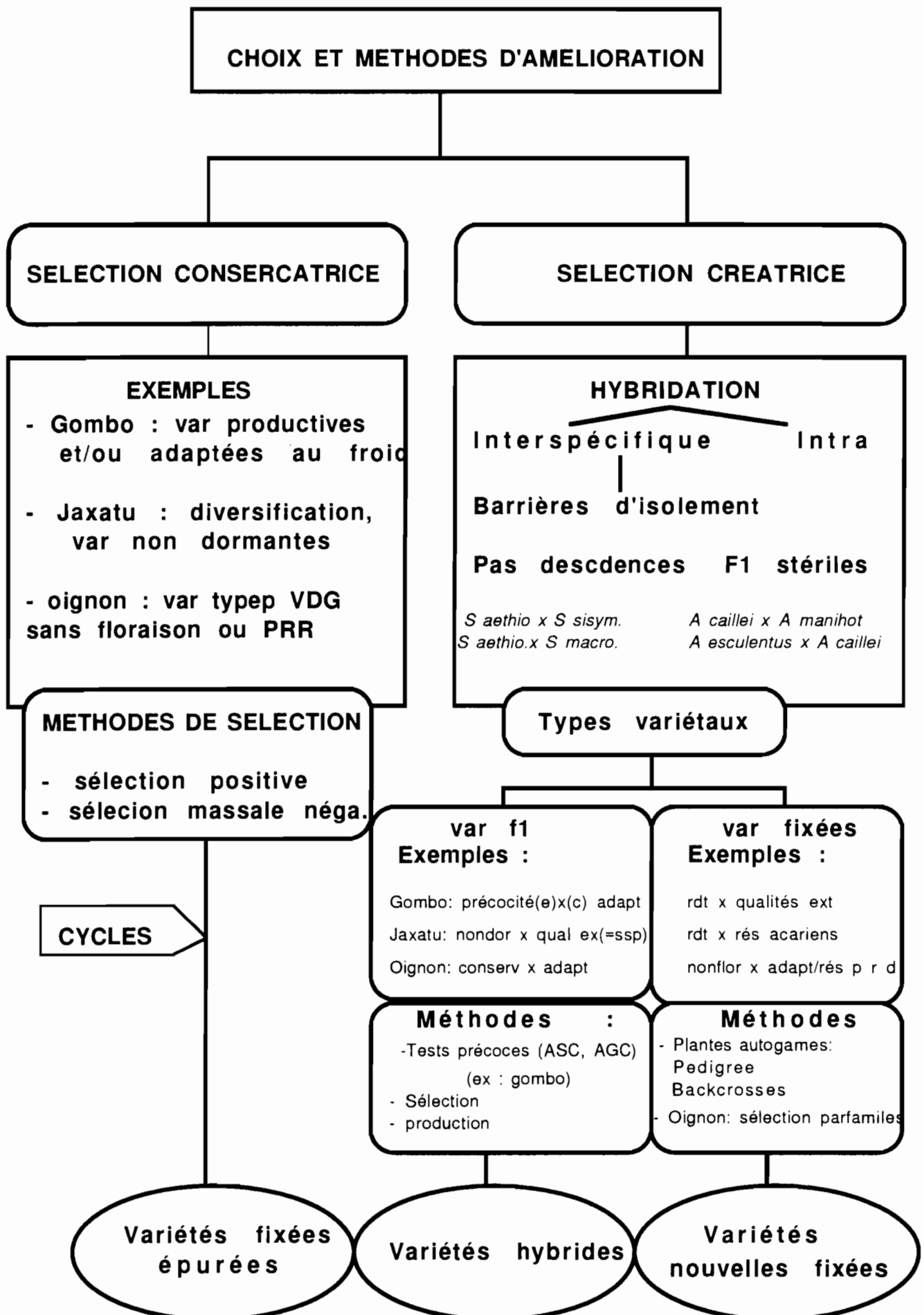
La production suivant les espèces est plus ou moins saisonnière (cf figure 1).

Figure 1 : Variation des prix au détail sur les marchés de Dakar pour quelques espèces maraîchères (1994-1995 - Source : ISRA/CDH).



Cette figure indique des prix moyens supérieurs pour les légumes autochtones comparés au type européen. Ces prix impliquent des productions respectives maximales situées en périodes chaude (type tropical) et fraîche (type européen).

Figure 2 : Initiation et conduite d'un programme de sélection.



2.1.2. Valeur alimentaire

Les légumes tropicaux tels que ceux précités comparés à la tomate ont des valeurs nutritives supérieures (voir tableau 3).

Tableau 3 : Valeur nutritive comparée de quelques légumes tropicaux et de type européen (Sources : Toury et coll. 1965 ; Charrier, 1983 ; Kerharo et Adam, 1974 ; cités par Seck, 1995).

Espèces	Calories/100 g	Matières sèches/100 g	Protides/100 g	Glucides/100 g
Gombo (<i>Abelmoschus</i> spp.)	33	10	2	6
Aubergines africaines (<i>Solanum</i> spp.)	30	9,6	1,6	7,2
Roselle (<i>Hibiscus sabdariffa</i>)	31	11	1,6	6,7
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	26	8,5	1,9	5,8
Aubergine (<i>S. melongena</i>)	25	7,6	1,1	5,8

2.2. L'oignon (*Allium cepa* L.)

C'est un légume de type européen considéré comme l'une des 4 espèces les plus importantes au Sénégal. La production annuelle qui dépasse quelquefois 30 000 tonnes est groupée pour l'essentiel entre les mois de février et juillet (figure 1). Cette saisonnalité, associée aux difficultés de conservation, explique la nécessité de recourir aux importations en périodes de pénurie (15 000 t/an).

La production axée sur un besoin global en semences estimé à 8 à 10 tonnes est basée à environ 50% sur la variété locale dite Violet de Galmi. Les zones de Potou et Gandiole situées respectivement à environ 230 et 250 km de Dakar (Zone des Niayes) produiraient plus de 30% du total. D'après Sow (1981), sur 17 espèces légumières, l'oignon est la plus régulièrement consommée (12 fois par semaine contre 8 pour la tomate et 2 pour la pomme de terre).

PROBLEMES DE SELECTION, OBJECTIFS ET SOURCES DE VARIABILITE

Les problèmes à résoudre par la sélection et partant les objectifs poursuivis sont assez divers et quelquefois spécifiques suivant les espèces (figure 2).

1. Cas des espèces tropicales

La définition des objectifs de sélection s'appuie sur les problèmes à résoudre, mais suppose également la possibilité de trouver des sources adéquates des gènes ou complexes géniques requis : niveaux intra-spécifique (sous-espèces, variétés botaniques, cultivars) et interspécifique (espèces voisines) (tableau 4).

2. L'oignon (*Allium cepa* L.)

Cette espèce introduite en Afrique et qui s'y est bien installée pose des problèmes spécifiques :

- Difficultés d'étalement de la production : production limitée dans le temps avec les variétés de jours courts stricts dont le Violet de Galmi, domestiqué au Niger (semis en octobre-décembre et récolte entre février et mai).
- Montée précoce à graines en première saison suivant les zones de production et les pays, avec des populations de qualité diverse (% de préfloraison entre 8 et 70%).
- Hétérogénéité de la coloration des bulbes sur les productions commerciales (bulbes blancs, jaunes et rouges) en relation avec le niveau de sélection des lots de semences utilisés et le déterminisme polygénique de ce caractère.

- Grande sensibilité du Violet de Galmi à la pourriture rose des racines due à *Pyrenochaeta terrestris*.
- A côté de ces défauts majeurs, on connaît à cette variété plusieurs qualités (productivité, facilité de multiplication, qualités organoleptiques, etc.) qui en font aujourd'hui la plus prisée sur les marchés urbains.

Tableau 4 : Exemples d'objectifs de sélection pour quelques espèces légumières tropicales et sources potentielles de gènes (Source : Seck, 1997).

Espèces	Objectifs	Sources gènes/ Références	Observations
Aubergines africaines : - <i>Solanum aethiopicum</i> - <i>S. macrocarpon</i> - <i>S. anguivi</i>	- Calibre fruit, couleur, forme, goût, ... - Absence de dormance - Productivité - Résistance acariens - Résistance maladies. (<i>Stemphylium/Alternaria</i>)* - Résistance nématodes *	Sous espèces de <i>S. aethiopicum</i> (<i>Gilo</i> , <i>Aculeatum</i> et var. locales) <i>S. macrocarpon</i> (Chaff et al., 1983) Plantes à feuilles poilues (Seck, 1984, 1986); sous espèces + var. locales <i>Solanum torvum</i> (Messiaen, 1974)	- Les feuilles glabres (ssp. <i>Kumba</i> et <i>Shum</i>) sont édibles - <i>S. macrocarpon</i> (Aubergine du Bénin) : résistance également observée au Sénégal (Seck, 1984) - Variétés fixées ou F1 prévues
Gombo - <i>Abelmoschus esculentus</i> - <i>A. caillei</i>	- Forme capsules, couleur, % mucilages - Productivité - Adaptation climatique (saison fraîche) - Résistance <i>Fusarium</i> * <i>oxysporum</i> - Résistances nématodes * (<i>Méloïdogyne</i>)	Variétés de <i>A. caillei</i> et <i>A. esculentus</i> <i>A. caillei</i> (obs.pers.) <i>A. manihot</i> et <i>A. moschatus</i> (Kalloo, 1988) <i>A. manihot</i> (Kalloo, 1988)	- La productivité est corrélée avec le nombre de ramifications, de fruits et le poids de ces derniers - Les rendements en période fraîche au Sénégal sont inférieurs à 3 t/ha (semis novembre à mi-janvier) - Objectifs à réaliser à travers des variétés OP et hybrides
Roselle <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	- Homogénéité pour les principaux caractères - Rendement (feuilles + calices) élevé - Haute teneur en anthocyanes (var. rouges) - Qualités gustatives et nutritives (acidité, vitamine C) - Résistance au phytophthora	- Divers CV de <i>H. sabdariffa</i> var. <i>sabdariffa</i> <i>Hibiscus cannabinus</i> (Stone et Alconero, 1973)	Variétés alimentaires (<i>sabdariffa</i>) très peu sélectionnées : haute hétérogénéité des variétés locales

* : programmes non encore initiés.

Principaux objectifs du volet sélection oignon :

- Sélection pour la suppression de la floraison précoce (% nul pour un semis de novembre).
- Création de nouvelles variétés adaptées aux conditions de la saison chaude et humide (températures élevées, jours intermédiaires).
- Sélection d'écotypes proches du VDG, homogènes et résistants à la maladie des racines roses (*Pyrenochaeta terrestris*).
- Etude de combinaisons hybrides aptes à corriger certains défauts du type local et destinées à la multiplication.

Les sources de gènes sont recherchées en priorité au niveau intraspécifique.

SCHEMAS DE SELECTION

1. Remarques générales

Les informations sur les légumes autochtones sont insuffisantes, notamment dans les domaines tels que la taxonomie, les comportements héréditaires, la biologie florale, etc.

1.1. Taxonomie et cytogénétique

Les connaissances disponibles dans ce domaine sont quelquefois confuses et contradictoires. Toutefois, on observe une certaine évolution. Par exemple :

- le cas des *Solanum* non-tubérifères (aubergines africaines) (Lester, 1982 a, 1982 b),
- et celui du genre *Abelmoschus* avec différents travaux de chercheurs en relation avec l'IPGRI (ex-IBPGR, 1990).

1.2. Les comportements héréditaires

Quelques études ont été faites et rapportées notamment sur le gombo (cf. Markose et Peter, 1991 ; Rozy, 1992 ; Mbaye, 1994 ; Seck, 1997), sur les caractères quantitatifs et qualitatifs. Par contre, les informations semblent être beaucoup moindres sur des plantes telles que les aubergines africaines (voir Seck, 1986 ; Lester et Tithai, 1986), et la roselle (Boulanger *et al.*, 1984). A cela s'ajoutent, pour les légumes de type européen, l'absence d'informations sur des aspects spécifiques tels que le déterminisme de la préfloraison et de l'adaptation climatique pour l'oignon.

1.3. La biologie florale

Les études sur le comportement floral des plantes et leurs systèmes de reproduction sont peu nombreuses pour les espèces tropicales. Parmi les études recensées, on peut citer les suivantes :

- Gombo (Sulikeri et Rao, 1972 ; Purewal et Randhawa, 1977 ; Hamon, 1989 ; Markose et Peter, 1991 ; Rozy, 1992 ; cités par Bousso, 1995). On peut citer en particulier le travail de Mbaye (1994) sur les méthodes de pollinisation manuelle et de production d'hybrides.
- Aubergines africaines : très peu d'études (Seck, 1984, 1986).
- Roselle : on peut citer les références rapportées par Ndour (1997) : Grubben (1977) ; Purseglove (1984) ; Boulanger *et al.* (1984) ; Bricage (1983).

2. Initiation et conduite des programmes de sélection

Le schéma de la figure 2 tiré de Seck (1977 a) tente d'illustrer de manière globale la démarche généralement suivie. Elle part d'une bonne connaissance des problèmes à résoudre et aboutit à l'obtention de variétés commerciales (F1, OP) qui sont ensuite testées à plusieurs niveaux avant d'être diffusées. Le commentaire de ce schéma sera basé sur 2 plantes autogames (gombo et aubergines) et l'oignon (espèce allogame).

2.1. Recherche et étude des sources de variabilité

Suivant les espèces, les problèmes et les objectifs, la mise en place d'un matériel génétique de départ par une série de collectes et d'introductions s'est avérée nécessaire. Ainsi, la situation des ressources génétiques pour les 3 espèces prises comme exemples est la suivante :

- Gombo : matériel très diversifié réparti entre 4 espèces d'*Abelmoschus* (*A. esculentus*, *A. caillei*, *A. framanihot* et *A. moschatus*) (morphologie diverse, feuilles, capsules) (Charrier, 1983).
- Aubergines africaines : importante variabilité constituée par des génotypes de 3 espèces de *Solanum* (*S. aethiopicum*, *S. macrocarpon* et *S. anguivi*) ; l'espèce *aethiopicum* est la plus diversifiée avec les 4 sous-espèces représentées (*Gilo*, *Aculeatum*, *Shum* et *Kumba*) avec 90% des variétés constituées par le groupe *Kumba*.
- Oignon : l'ensemble des génotypes collectés appartiennent à *Allium cepa* sensu stricto (variétés de jours courts et intermédiaires).

- Pour chaque espèce, le matériel est ensuite caractérisé et évalué (étude des caractères qualitatifs et quantitatifs) de manière à mieux cerner la variabilité génétique.

Dans les grandes lignes, l'étude des génotypes collectés au niveau local ou introduits a permis suivant les espèces concernées d'identifier et de sélectionner ceux d'entre eux qui répondent le mieux au critère de sélection (tableau 4) :

- Gombo : présence de caractères qualitatifs et quantitatifs intéressants (aspect externe, productivité) ; aptitudes diverses à la combinaison hybride, adaptation climatique, etc. ;
- Aubergines africaines : qualités externes et liées au rendement ; qualités gustatives diverses ; absence de dormance des semences, résistance par antixénose aux acariens liée à la pilosité foliaire mise en évidence et rapportée par Seck (1984, 1986) ;
- Oignon : identification d'écotypes intéressants comportant des gènes liés à la non floraison en 1ère année ; productivité liée au calibre des bulbes ; possibilités de transfert de gènes d'adaptation en conditions chaudes ; présence de gènes de résistance à *Pyrenochaeta terrestris*.

2.2. Types variétaux et méthodes de sélection

Comme l'indique la figure 2, deux cas sont possibles après étude de la variabilité pour les choix d'amélioration :

- **1er cas** : certains génotypes présentent le ou les caractère (s) recherché (s), auquel cas une simple épuration des populations par sélection positive (autofécondations) peut aboutir après quelques cycles de sélection à l'obtention de variétés homogènes (sélection conservatrice). Pour certaines espèces (aubergines) la technique des haploïdes doublés non encore exploitée peut permettre de raccourcir les cycles et d'accéder rapidement à l'homozygotie.

Exemples :

- Gombo : possibilités de sélection de variétés productives et diversifiées (qualités externes, adaptation au froid) (Mbaye 1994 ; Bouso, 1995).
- Jaxatu : possibilité de diversification variétale et de sélection pour l'absence de dormance embryonnaire chez *Solanum aethiopicum* (Seck et Sow, 1993).
- Oignon : possibilités de sélection d'écotypes proches du Violet de Galmi et sans floraison en première saison et/ou résistants au *Pyrenochaeta terrestris* (données non publiées).
- Cette première orientation (sélection conservatrice) est parfois incontournable au début d'un programme et permet déjà d'obtenir des variétés fixées associant un certain nombre de caractères utiles.

- **2ème cas** : les caractères recherchés sont dispersés dans les génomes respectifs d'au moins 2 génotypes, auquel cas, le sélectionneur doit nécessairement effectuer des croisements (sélection créatrice). Ce choix suppose quelquefois une première option quant au type variétal :

- variétés fixées : caractères issus de 2 génotypes parentaux (nouvelle variété).
- hybrides commerciaux : plusieurs caractères dominants complémentaires.

L'hybridation rendue nécessaire par le besoin d'obtenir des nouvelles plantes peut se faire à 2 niveaux suivant les cas :

- niveau intraspécifique : il s'agit de croisements entre variétés agronomiques ou botaniques, ou entre sous-espèces d'une même espèce. Dans ce cas, la variabilité (qualités externes) peut être transférée par hybridation.
- niveau interspécifique : il est très fréquent que les gènes recherchés ne soient pas trouvés au niveau intraspécifique, notamment quand il s'agit de résistance ou d'adaptation climatique. Dans ce cas, il est fait recours aux espèces voisines pour faciliter les croisements et obtenir la F1 (barrières d'isolement pré ou post-zygotiques). Les barrières passées en revue dans divers documents (Seck, 1987, 1992, 1997) peuvent aller de l'absence de germination du pollen à l'obtention d'hybrides partiellement ou totalement stériles.

Quelques exemples :

- Aubergines *Solanum aethiopicum* x *S. sisymbirifolium*
S. aethiopicum x *S. macrocarpon* (Seck, 1983) Pas de descendance
- Gombo *Abelmoschus caillei* x *A. manihot*
(Jambale et Nerkar, 1987) Hybrides partiellement stériles
Abelmoschus esculentus x *A. caillei*
(Hamon, 1987 ; Seck, obs pers.)

Des techniques spéciales peuvent quelquefois être utilisées pour réussir les croisements (ponts génétiques, pollen, mentor extraction et culture d'embryons, amphidiploïdie, etc...) ; parfois, le recours à la biotechnologie est nécessaire.

Exemples de transfert de gènes

- Pour les variétés fixées :

- Gombo : possibilité d'associer les qualités de présentation (forme, couleur) à la productivité (rendement lié à ses principales composantes telles que le nombre de ramifications fertiles, le nombre et le poids moyen des capsules).
- Jaxatu : possibilité d'associer les caractères utiles d'une variété récurrente (sous espèce *Kumba*) à un ou plusieurs autres caractères d'autres espèces ou sous-espèces tels que la résistance aux acariens ; correction de défauts (forme et calibre des fruits).
- Oignon : possibilité d'élargir la période de culture très étroite du Violet de Galmi par transfert du (ou des) gène(s) lié(s) à l'adaptation en conditions chaudes ; correction de défauts (floraison précoce).

- Pour les variétés hybrides :

- Gombo : productivité et précocité (*A. esculentus*) à associer (*A. caillei*) ; effet d'hétérosis pour le rendement et ses composantes (F1 : 1,5 fois plus productive que les variétés fixées) (Bousso, 1995 ; Ngom, 1995).
- Aubergines africaines : transfert de la non dormance des semences par croisement (variétés, sous-espèces) ; transfert de l'inflorescence en grappe, dominant sur la cyme et liée au rendement (Seck, 1986 a).
- Oignon : possibilité d'associer sur une formule F1 les caractères utiles dominants issus d'écotypes locaux et de variétés introduites (exemples : résistance à la chaleur, absence de préfloraison). Pour cette espèce, les hybrides commerciaux n'ont pas encore vu le jour (recherches en cours sur la stérilité mâle et les lignées B).

2.3. Choix des méthodes de sélection

Nous distinguerons l'option « variétés hybrides » opposée aux « variétés fixées » d'une part et les plantes autogames et allogames, d'autre part.

2.3.1. Les variétés hybrides

Elles sont moins connues dans les pays en développement où l'on constate encore une certaine prédominance des variétés fixées. Toutefois, on assiste aujourd'hui à une certaine popularisation de ce type de variétés pour certaines espèces (tomate et chou pommé). Par ailleurs, pour les légumes africains, les études disponibles ont permis de mettre en évidence soit un certain effet d'hétérosis, soit une complémentarité génomique qui justifieraient la création d'hybrides commerciaux. Cependant, il importe de souligner la difficulté liée à l'absence d'études sur la mise au point de techniques d'hybridation manuelle en relation avec la biologie florale en l'absence de stérilité mâle.

En outre, pour un tel programme, 2 problèmes sont à résoudre :

- la mise en évidence des possibilités (faisabilité technique) et de l'opportunité de création (pertinence de cette option à travers la performance des formules),

- la mise au point d'une technique de production efficace (taux d'hybrides voisin de 100%) et économique (coûts de production raisonnables).

Exemple du gombo

La démarche suivie est la même depuis la définition des objectifs jusqu'au premier choix des génotypes ou géniteurs (figure 2). Dans le cas de cette espèce, un test précoce d'aptitude à la combinaison (diallèle) a permis, à partir de 10 géniteurs retenus du matériel étudié, d'obtenir 45 combinaisons intra-*esculentus* (Mbaye, 1994). Ces formules ont par la suite été comparées entre elles et par rapport à leur meilleur parent, ce qui a permis de mettre en évidence un effet d'hétérosis de 50% pour le rendement en relation avec ses principales composantes (Ngom, 1995) ; de même Bousso (1995), dans le cadre de la sélection pour la résistance au froid, a obtenu des résultats similaires avec des combinaisons interspécifiques. Pour les aubergines africaines, la même démarche utilisée a également permis d'obtenir plusieurs combinaisons intéressantes.

Toutefois dans ce cas, on peut noter 2 obstacles à surmonter portant sur : le manque d'informations relatives à la performance de la technique manuelle de croisement au plan économique (coût), et la dominance incomplète de la pilosité foliaire (caractère quantitatif) (Seck, 1986).

2.3.2. Les variétés fixées

** Sélection conservatrice*

C'est le cas le plus simple et la sélection est différemment menée selon le régime de reproduction :

- pour les plantes autogames, sélection positive (autofécondations) suivie de sélection massale négative. A titre d'exemple, avec le gombo et les aubergines africaines pour des cycles culturaux respectifs de 90 à 100 jours et de 120 à 130 jours après semis et un nombre de cultures/an de 1,5 et 2, l'homogénéisation des populations peut être obtenue au bout d'un an et 1/2 à 2 ans.
- pour les plantes allogames (exemple de l'oignon), la sélection massale négative permet à partir de 3 cycles (6 années) d'obtenir des résultats concluants (exemple de la sélection pour la résistance au *Pyrenochaeta terrestris* en cours).

** Sélection créatrice*

Dans ce cas si les problèmes d'incompatibilité (croisements interspécifiques) sont absents ou résolus, les choix seront également fonction du régime de reproduction et du nombre de gènes en cause et de leur déterminisme.

** Cas des plantes autogames.*

Plusieurs méthodes sont utilisées par les sélectionneurs parmi lesquels :

- la méthode pedigree (exemple des aubergines africaines). On se réfèrera pour les détails méthodologiques à Seck (1986, 1992, 1997). L'emploi de cette méthode s'est justifié par le besoin de diversification variétale et le nombre de caractères considérés présents dans au moins 2 génotypes sélectionnés (forme, couleur, calibre et goût des fruits, résistance aux acariens, productivité). La variabilité requise a été obtenue avec les sous-espèces *Kumba* d'une part, *Gilo* et *Aculeatum* d'autre part.

- la méthode des rétrocroisements. Les semences de jaxatu (*Solanum aethiopicum* L. ssp. *Kumba*) connaissent une forte dormance embryonnaire qui dure 5 mois avant sa levée naturelle. Plusieurs études des possibilités de levée artificielle ont mis en évidence et confirmé l'effet positif de la gibbérelline, mais la forme artificielle de cette substance (AG3) s'avère onéreuse. Toutes les autres tentatives de traitement physique et chimique s'étant avérées inefficaces, la solution génétique s'est par contre avérée prometteuse avec la mise en évidence du caractère « absence de dormance » dominant et présent chez certains génotypes (Seck et Sow, 1993). La méthode des backcrosses actuellement utilisée tente de transférer le (ou les) gène(s) concerné(s) pour améliorer les variétés actuellement commercialisées.

** Cas de l'oignon (*Allium cepa* L)*

Pour les plantes allogames également, plusieurs méthodes déjà bien décrites dans la littérature scientifique sont utilisées (Bouharmont, 1981 ; Seck, 1992). Une méthode décrite par l'ISRA/CDH est

la sélection par familles, proche de la pedigree, mais dont elle se distingue essentiellement par l'absence d'autofécondations (F₁ et familles constituées de plusieurs plantes dont la fécondation est libre) ; les familles sont isolées avec une sélection au niveau intra famille, essentiellement massale négative. Cette méthode a été adoptée dans le programme oignon suite à la réalisation de croisements divers entre plusieurs écotypes locaux (jours courts stricts) et d'autres variétés de jours intermédiaires (absence de floraison précoce, adaptation climatique, bonne conservation, couleur, goût, etc.).

3. La maintenance des sources de variabilité

Le matériel génétique actuellement disponible porte sur des lignées, familles, noyaux autofécondés ou variétés locales, espèces voisines et/ou sauvages des 9 principales espèces concernées par le programme. Le mode de propagation de toutes les espèces concernées étant essentiellement sexué, la conservation *ex-situ* s'avère le seul moyen utilisé :

- pour les solanacées et malvacées : chambre climatisée avec une température constante régulièrement contrôlée, de l'ordre de 15°C et une humidité relative de 50%. Ce procédé de conservation qui ne permet qu'une conservation limitée dans le temps (2 ans et demi à 3 ans et demi) suppose une régénération périodique notamment pour les génotypes les plus utilisés.
- pour les alliées (oignon, ail et échalote) les bulbes des variétés tropicales dont il s'agit ici sont conservables en conditions ambiantes. En ce qui concerne l'oignon, les informations disponibles sur le déterminisme génétique des caractères « aptitude à l'induction florale sans vernalisation » et « bonne conservation à l'air libre » sont encore insuffisantes. Les recherches sur les croisements effectués nous permettront de faire les vérifications nécessaires et d'organiser le volet maintenance en conséquence.

LA DIFFUSION DES OBTENTIONS

Les variétés sélectionnées sont censées passer par une étape essentielle constituée par les essais en station et multilocaux avant d'être introduites dans le processus de diffusion.

1. Essais variétaux en conditions maîtrisées

Il s'agit d'essais successifs à 2 niveaux :

- niveau station ou centre de recherche, correspondant en général à une maîtrise totale des conditions de culture (souvent hautement intensives) et sur des superficies en général limitées. Ces essais permettent au sélectionneur, en fonction du nombre de variétés, de faire un premier tri pour des essais au niveau suivant.
- niveau multilocal, correspondant à des essais sur les variétés proposées dans différentes conditions agro-écologiques mais sur des superficies relativement plus élevées et une certaine maîtrise des conditions. Ces essais peuvent ou non être menés en rapport avec des partenaires dans leurs propres stations d'expérimentation.

Ces deux niveaux permettent en général d'obtenir des informations utiles sur le potentiel de productivité ou d'adaptation climatique et ses fluctuations suivant la maîtrise des conditions de production. A leur terme, le sélectionneur est à même de retenir les meilleures obtentions (un nombre limité de variétés) pour des essais en milieu rural, premier maillon du processus de diffusion.

2. Processus de diffusion des variétés

Ce processus va donc des essais en milieu rural à la commercialisation en passant par le système semencier. A l'heure actuelle, le programme dispose de plusieurs variétés fixées et de combinaisons hybrides de gombo, de jaxatu et d'oignon qui sont déjà introduites (ou vont l'être) avant diffusion.

2.1. Essais en milieu rural

C'est le volet « développement » qui permet un contact direct avec les producteurs. A ce niveau les meilleures variétés retenues suite aux essais réalisés aux niveaux précédents sont testées. La spécificité de ces conditions de production est liée au caractère très extensif des systèmes culturels dont le sélectionneur doit tenir le plus grand compte. A ce niveau, nous disposons à travers le pays

d'un réseau de développement constitué de collaborateurs divers (ONG, services agricoles publics, projets, GIE, etc.). Ceux-ci disposent le plus souvent d'un programme de vulgarisation avec des encadreurs basés en milieu rural.

Les essais sont ainsi réalisés avec l'introduction des nouvelles variétés en comparaison avec des témoins connus dans ces systèmes de culture extensifs avec ou sans parcelle de référence intensifiée. La durée moyenne de ce volet est de l'ordre de 2 années au bout desquelles le producteur est à même de faire naturellement son choix. Ce dernier tiendra certes compte des performances des variétés, mais également du goût et des préférences du consommateur.

2.2. Systèmes semenciers

Les variétés sur lesquelles sont portés les choix des producteurs sont ensuite intégrées dans un système de multiplication comportant 2 volets distincts, à savoir :

- la maintenance des obtentions : il s'agit de la production de semences de prébase (Go) et de base (G) à partir des noyaux initiaux remis par le sélectionneur. Ce travail est effectué en station avec une maîtrise totale des conditions de culture par un service spécialisé, pour garantir la production ultérieure de bonnes semences commerciales.
- la production de semences commerciales : elle est assurée par le service de la production à partir des noyaux de base multipliés par le niveau supérieur. La production est faite soit dans les stations de production *en régie directe* (la société dispose de 2 stations de 20 ha chacune respectivement situées en climats sahélien et subcanarien), soit par la *sous traitance* avec des agriculteurs-multiplicateurs sélectionnés.

2.3. Promotion et commercialisation

Les variétés retenues, confirmées et multipliées sont diffusées par la vente en même temps qu'elles font l'objet d'une promotion à travers un système de distribution gratuite des semences en petite quantité à la clientèle.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le groupe TECHNISEM et ses sociétés affiliées tentent de répondre au mieux aux préoccupations des utilisateurs de ses produits à travers son programme de recherche domicilié au Sénégal. Ce programme essentiellement axé sur la sélection et l'amélioration génétique est monté vers des aspects spécifiques liés soit aux espèces autochtones jusqu'ici peu étudiées, soit à des problèmes particuliers relatifs à certaines espèces de type européen importantes. Il a à son actif des acquis importants (matériel génétique, nouvelles variétés, informations sur les plantes concernées, etc.), même si un long chemin reste encore à faire.

Ces spécificités sont à l'origine des nombreuses contraintes que rencontrent également tous les autres programmes de ce genre basés en zone tropicale ou axés sur les mêmes plantes. Cela semble démontrer la nécessité d'initier ou de renforcer la collaboration entre ces programmes (qu'ils soient publiés en privés afin de mettre à profit leurs complémentarités respectives (interdisciplinarité, expériences spécifiques, matériel génétique, etc.).

BIBLIOGRAPHIE

- Bourmont J. 1981 : Amélioration des plantes. 229 p. Université Catholique de Louvain-la-Neuve.
- Bouso B.O. 1995 : Sélection de variétés hybrides ou OP de gombo adaptées à la période fraîche par recours à la variabilité interspécifique. Mémoire ENCR/TROPICASEM. 58 p.
- Charier A. 1983 : Genetic resources of the Genus *Abelmoschus* med (okra) international board for Plant Genetic Resource. Rome. 61 p.
- Hamon S. 1987 : Organisation évolutive du genre *Abelmoschus* non originaire de l'Afrique de l'Ouest. Rapport de convention ORSTOM/IPGRI n°87/72. 83/42.
- IBPGR (actuel IPGRI), 1991 : International Workshop on okra Genetic Resources New-Delhi, India.

- Kalloo 1988 : Vegetable breeding. Volume II Boca Raton, Florida (USA), CRC Press. 213 p.
- Kerharo J, Adam J.G. : 1974 : La pharmacopée sénégalaise traditionnelle : plantes médicinales et toxiques. pp 528-529.
- Lester R.N., Tithai G.N.W. 1986 : Inheritance in *Solanum aethiopicum*, the scarlet eggplant. 6e rencontre Eucarpia, Sargosse. pp 21-24.
- Lester R.N. 1982 : Systematics of Asian and African Eggplants, (*Solanum melongena*, *S. macrocarpon* and *S. aethiopicum*). University of Birmingham U.K (comm.pers. à Daunay). pp 1-5.
- Marjose B.L. et Peter K.V. 1991 : Review of research on vegetable and tuber crops : okra kerala Agricultural University.
- Mbaye F. 1994 : Contribution à l'étude des possibilités de création et de production de variétés commerciales hybrides de gombo (*Abelmoschus sp.*). Mémoire ENCR/TROPICASEM. 53 p.
- Messiean C. M. 1974 : Le Potager Tropical. Tome 1 « Techniques vivantes ». Presses universitaires de France. pp 98-100.
- Ndour C. 1997 : Contribution à l'étude des possibilités d'amélioration génétique du bisaab (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *sabdariffa*). Mémoire ENSA/TROPICASEM. 74 p.
- Ngom M. 1995 : Etude comparative des performances de 43 hybrides F1 de Gombo (*Abelmoschus esculentus*) et de leurs parents respectifs en période chaude et humide. Mémoire ENSA/TROPICASEM. 68 p.
- Rozy A.I., 1993 : Etudes des possibilités d'amélioration génétique et diversification du matériel végétal de Gombo cultivé au Sénégal. Mémoire ENCR/TROPICASEM. 46 p.
- Seck A. 1986-a : Sélection généalogique du jaxatu (*Solanum aethiopicum* ssp. *Kumba*) pour son adaptation aux conditions chaudes et humides : Études et sélection des descendance F2 et F3 obtenues par hybridation entre Soxna et 3 génotypes des sous espèces *Aculeatum* et *Gilo*. CDH/ISRA. 70 p.
- Seck A. 1986 a : Contribution à l'amélioration génétiques du Jaxatu (*Solanum aethiopicum*) pour la culture en saison chaude et humide. ISRA/CDH. 48 p.
- Seck A. 1986 b : Synthèse des travaux de sélection créatrice réalisés sur le jaxatu entre avril 1984 et juillet 1986. ISRA/CD. 30 p.
- Seck A. 1991 : Okra germplasm evaluation in Senegal. Workshop on okra genetic resources. New Dehli, India, 1990 (IBPGR). p 39.
- Seck A. 1984 : Contribution à l'amélioration génétique du Jaxatu (*Solanum aethiopicum* L.) pour la culture en saison chaude et humide. ISRA/CNEARC. 48 p.
- Seck A. 1995 : Communication sur l'utilisation et la conservation des ressources phytogénétiques des légumes de type africains au Sénégal. Atelier sur les légumes traditionnels en Afrique-Nairobi du 29-30 août (P. 9).
- Seck A. 1997 a : Developing new varieties of indigenous vegetables, work shop on indigenous vegetables Cameroon 13-18/01/97. 8 p.
- Seck A. 1997 b : Seed production and storage of some indigenous vegetables, work shop on indigenous vegetables Cameroon 13-18/01/97. 9 p.
- Seck A. et Diouf M. 1996 : Ressources génétiques des légumes-feuilles traditionnels au Sénégal : conservation, utilisation et perspectives de développement. 11 p.
- Seck A. et Sow A. 1993 : Suppression par voie génétique de la dormance des semences de jaxatu (*Solanum aethiopicum* L.). FAO-Bulletin de liaison n° 7 mars 1993.
- Sow I. 1981 : Etude de la consommation des légumes à Pikine Guédiawaye (Dakar). CDH.
- Stone E.G. and Alconero R. 1973 : Resistance to *phytophthora* in kenaf and related species. Plant disease reporter. Vol.57, No. 10.
- Toury J. et col. 1965 : Aliments de l'ouest africain (ORANA). pp 38-39.

VALORISATION DES ECHALOTES EN COTE D'IVOIRE

David O. ¹, Fondio L. ² et Moustier P. ²

1 - CIRAD/FLHOR, UR-Ecofil, Montpellier, France

2 - Institut des Savanes (IDESSA), Bouaké, Côte d'Ivoire

RESUME

La Côte d'Ivoire occupe la première place des pays importateurs d'oignons (*Allium cepa* L.) en Afrique de l'Ouest, avec plus de 50 000 t/an pour un marché global estimé à moins de 60 000 t/an (1995). Ce pays dépend donc du marché extérieur et de ses fluctuations. Les tentatives de solutions pour accroître une production nationale en oignon rencontrent des difficultés à cause des conditions climatiques largement défavorables sur la majeure partie du territoire. Cependant, une alternative passerait par un développement de la culture de l'échalote (*Allium cepa* var *aggregatum*), variété traditionnelle cultivée sur l'ensemble du pays. Les premières analyses économiques montrent qu'il existe un marché en fin de saison des pluies, de août à décembre, alors que l'oignon importé manque et voit son prix augmenter. Mais du fait de l'éclatement de sa production, l'échalote ne bénéficie pas d'une commercialisation d'envergure. En milieu urbain, son prix élevé toute l'année la cantonne à une population soit aisée, soit récemment installée en ville et fortement liée à ses modes de consommation antérieure. L'échalote est un produit particulièrement commercialisé sur les marchés ruraux. L'essor de cette variété passera par sa capacité à conquérir les marchés urbains comme celui d'Abidjan. Tel est l'enjeu de la recherche agronomique. Les premières investigations ont abouti à la collecte d'une vingtaine d'accessions d'échalotes qui peuvent faire l'objet d'une amélioration génétique. Les premières évaluations agromorphologiques ont permis de déterminer l'aptitude de certaines accessions à cette amélioration. Il s'agit notamment de leur aptitude à la bulbification et à la floraison.

Le travail d'analyse économique et d'investigation dans le domaine de l'amélioration génétique permet d'entrevoir la nécessité d'une poursuite de la recherche afin que cette échalote soit un produit qui puisse concourir à la réduction des importations des oignons en Côte d'Ivoire.

Mots clés : Côte d'Ivoire, oignon, échalote, amélioration variétale, filière, commerce, essais agronomiques, préférence de consommation

INTRODUCTION

Les effets conjugués de la croissance urbaine en Afrique et de la détérioration de la situation économique de la plupart des pays de cette région du monde font de l'approvisionnement des villes en produits vivriers un enjeu majeur pour les agricultures nationales et régionales (Moustier, 1995). Ce défi est d'autant plus important pour la Côte d'Ivoire qu'elle représente, avec la seule ville d'Abidjan, un marché de plus de trois millions de citadins, soit 50% de la population urbaine de ce pays. Nous aborderons ici le cas du marché ivoirien des alliums dont la grande majorité est constituée d'oignons (*Allium cepa* L.) actuellement importés alors que ce pays possède des potentialités qui, si elles étaient mieux exploitées, favoriseraient du même coup une variété locale d'échalote (*Allium cepa* var *aggregatum*) qui est actuellement menacée de marginalisation économique : la préservation du patrimoine génétique comme soutien de l'approvisionnement urbain.

La Côte d'Ivoire importait 21 000 tonnes d'oignons en 1987 (FAO). Ce pays en importe 55 000 environ en 1995 (David, 1996) et vient en tête des pays importateurs d'Afrique de l'Ouest. Sa production nationale (3 500 tonnes en 1994 et 4 800 tonnes en 1995) ne représente que 7 à 8% du marché et les prévisions les plus optimistes (10 000 tonnes) ne permettent pas d'envisager une substitution aux oignons importés. La production nationale reste confrontée à la difficile concurrence des oignons importés du Niger et de la Hollande (principales origines).

L'oignon cultivé en Côte d'Ivoire est la variété Violet de Galmi. Il a été introduit dans la région du nord au début des années 1980. Son succès économique auprès des consommateurs urbains et ruraux font que les services agricoles de ce pays espèrent son extension à de nouvelles zones, près de Bouaké (zone de contact forêt-savane) voire même sur le littoral. Mais les conditions climatiques du pays restent globalement défavorables à sa culture. L'échalote, par contre, se cultive sur toute l'étendue du territoire, aussi bien au sud, en zone de forêts, plus humide, que dans le nord, en zone de savanes, plus sèche. Cette

variété traditionnelle d'allium, appelée échalote, se caractérise par son mode de reproduction par voie végétative et par le caractère agrégé de ses bulbes. Les récents travaux menés par Fondio et Kouamé (1995) à l'Institut des Savanes (IDESSA) ont permis d'en collecter une vingtaine d'accessions. Les premières évaluations ont permis de déceler des numéros assez prometteurs du point de vue de l'amélioration variétale, notamment au niveau de leur aptitude à la floraison, de leur sensibilité aux pourritures et de leur rendement. A ce titre, la valorisation de cette échalote locale pourrait être une solution pour faire face aux fortes importations de l'oignon dont les prix se sont accrus en Côte d'Ivoire depuis la dévaluation du franc CFA.

L'échalote peut-elle se substituer à l'oignon ? Ne doit-elle pas plutôt tirer profit des réseaux de commercialisation de l'oignon existants en faisant valoir ses complémentarités ? A quels critères agronomiques, économiques et organoleptiques devra-t-elle alors répondre pour s'imposer sur un marché déjà bien contrôlé par les opérateurs de la filière oignon ?

Dans cette communication, nous montrerons les enjeux économiques du développement de l'échalote en Côte d'Ivoire, les contraintes liées à son développement, l'apport de l'amélioration variétale et les axes de recherches en vue de valoriser cette production.

DEMARCHE METHODOLOGIQUE

Etude de l'aspect économique

Pour percevoir les enjeux économiques du développement des échalotes, nous avons mené une étude de marché qui s'est articulée autour de trois types d'enquêtes. Le premier a consisté à un relevé des prix au détail en 1994 et 1995 sur six marchés d'Abidjan, trois de Bouaké et trois de Man (ville située à l'ouest du pays). Les oignons et échalotes concernés proviennent du Niger, de la Hollande, du Burkina Faso et du nord de la Côte d'Ivoire. La seconde étude s'est intéressée à la consommation des alliums par 100 ménages choisis dans deux quartiers d'Abidjan (Yopougon et Adjamé) et auprès desquels deux passages ont été effectués, le premier en octobre 1994 et le second en octobre 1996.

Le questionnaire portait sur l'origine et le niveau de vie des consommateurs, les échalotes et oignons préférés et le comportement des consommateurs en période de pénurie d'oignons. Un dépouillement partiel a porté sur les 50 ménages de Yopougon dont 26 ont été retenus pour faire l'objet d'une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC). La troisième forme d'enquêtes (entretiens ouverts) concernait les commerçants (importateurs, exportateurs, grossistes et demi-grossistes) ainsi que les transporteurs, suivis de mai 1994 à juillet 1996. Différents réseaux commercialisant l'oignon depuis le Niger mais aussi depuis le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire ont ainsi pu être comparés.

Approche de l'amélioration génétique

En vue de valoriser cette échalote, dans le cadre de l'approche génétique, nos travaux ont comporté deux étapes. La première étape a été l'organisation, avec l'appui financier du Natural Resources Institute (NRI), dans le nord du pays, d'une prospection de collecte à l'issue de laquelle une vingtaine d'accessions d'échalotes ont été réunies. Cette prospection a été mise à profit pour aborder avec les paysans la situation du calendrier cultural.

La seconde étape a été la caractérisation morphologique et l'évaluation agronomique des accessions. Les paramètres retenus pour cette caractérisation ont été la forme (allongée et arrondie), la couleur et le calibre des bulbes. L'évaluation agronomique a porté sur la durée du cycle de culture, l'aptitude à la floraison, la sensibilité à la pourriture des bulbes et le rendement.

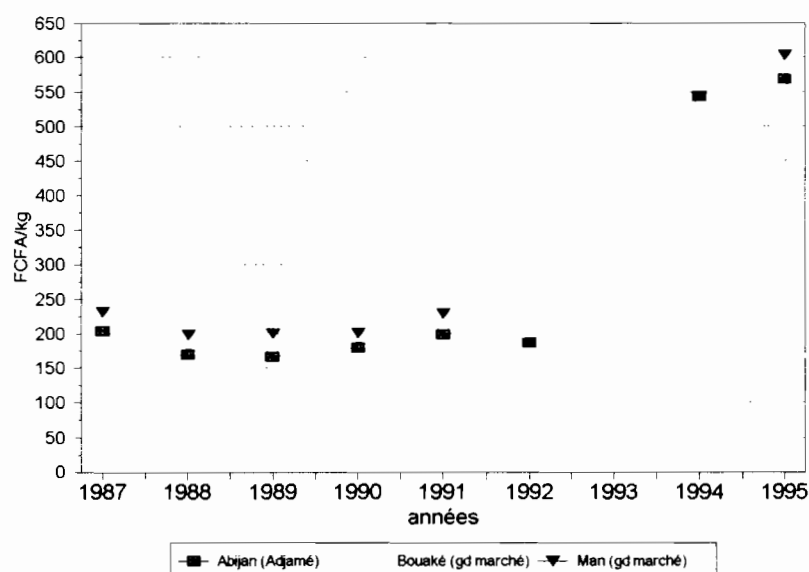
RESULTATS

Enjeux économiques du développement des échalotes

Les opportunités d'un développement de l'oignon en Côte d'Ivoire se sont accrues depuis les dernières évolutions du marché engendrées par la dévaluation du franc CFA d'une part et par le succès sans cesse croissant que connaît l'oignon africain en général par rapport aux variétés importées d'Europe. En effet, la dévaluation du franc CFA a entraîné une multiplication du prix au détail de l'oignon de 140% (Man) à

190% (Abidjan) entre 1992 et 1995. L'examen du graphique 1 (OCPV et enquêtes personnelles) montre que les prix du kilogramme d'oignon au détail sont passés, en moyenne, de 200 à 600 F CFA sur les marchés de Man et d'Adjamé (Abidjan) et de 200 à 400 F CFA sur celui de Bouaké entre 1992 et 1995. En outre, de toutes les origines qui alimentent le marché ivoirien en oignons, celle du Niger s'impose de plus en plus du fait de l'organisation des agents de la filière et de l'efficacité commerciale qui en résulte. De nos jours, l'oignon du Niger participe jusqu'à hauteur de 75% à l'approvisionnement d'Abidjan (en avril, mai et juin), au profit d'un groupe restreint de commerçants qui imposent leur prix (David, 1995a et 1995b).

Graphique 1 : Evolution des prix de détail (F CFA/kg) - Abidjan, Bouaké, Man.



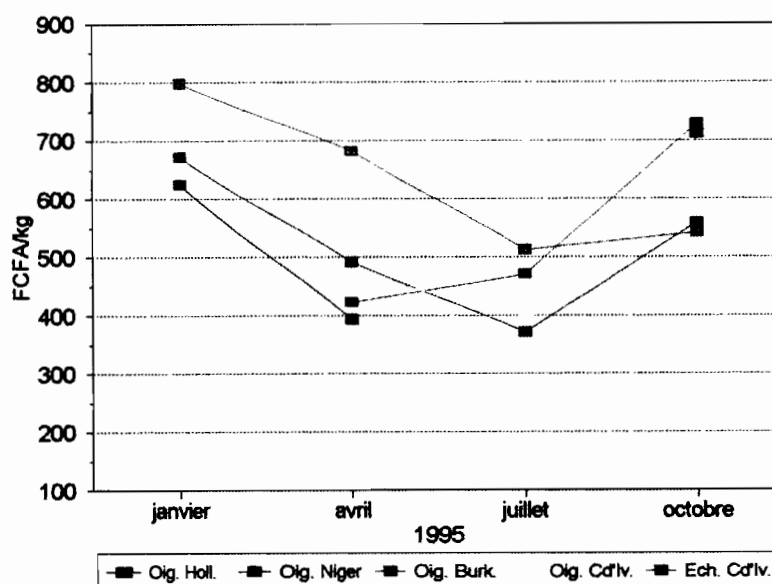
Développer une production nationale d'oignons demeure donc un enjeu économique. Toutefois, les essais d'évaluation variétale, effectués par Fondio (1996a et 1996b) dans la région de Bouaké, ont donné de très faibles rendements en comparaison de ceux obtenus dans le nord (2 t/ha pour la meilleure variété en zone humide contre 26 t/ha dans le nord). Quand on sait que les contraintes climatiques limitent l'extension de la zone de culture de l'oignon, on ne peut que s'intéresser à l'échalote (*Allium cepa* var. *aggregatum*) qui s'accommode de l'écologie de la majeure partie du pays. Reste à savoir si cette échalote est appréciée des consommateurs et si elle bénéficie de structures de commercialisation aptes à articuler l'offre à la demande.

Selon nos premières enquêtes effectuées en 1995 sur le marché d'Adjamé (Abidjan), cette échalote occupe une place oscillant, selon les mois, entre 4 et 12% du volume du marché des alliums.

La faible présence des échalotes expliquerait en partie son prix élevé (800-700 F CFA/kg), de janvier à avril (graphique 2). Cette période correspond à l'arrivée massive des oignons sur le marché. En avril, en pleine période de production, les oignons de type Violet de Galmi (Niger, Burkina Faso et Nord Côte d'Ivoire) coûtent entre 400 et 500 F CFA/kg, l'échalote garde un prix toujours élevé autour de 700 F CFA/kg (4% du volume des oignons sur le marché d'Adjamé, selon le tableau I).

Par contre, de juillet à octobre, période correspondant à la saison des pluies, avec 12% du volume total du marché des alliums, l'échalote se vend autour de 500 F CFA/kg alors que les oignons importés, qui font l'objet de pénurie (68% en octobre contre 95% en avril), se vendent en moyenne autour de 600 F CFA/kg.

Graphique 2 : Prix de détail comparé (année 1995) - Marché d'Adjamé (Abidjan).



(Sources : OCPV et enquêtes O. David)

Tableau I : Part des différents types d'oignon et d'échalote commercialisés en janvier, avril, juillet et octobre 1995 à Adjamé (Abidjan).

Oignon	Oignon Niger (%)	Oignon Hollande (%)	Oignon Burkina (%)	Oignon Côte d'Iv. (%)	Echalote Côte d'Iv. (%)	Total (%)
Mois						
Janvier	58	32	-	-	10	100
Avril	77	14	4	1	4	100
Juillet	56		11	21	12	100
Octobre	48	19	1	11	11	100

(enquêtes effectuées auprès d'un échantillon de détaillantes allant, selon les mois, de 6 à 12% du total de détaillantes d'oignons sur ce marché)

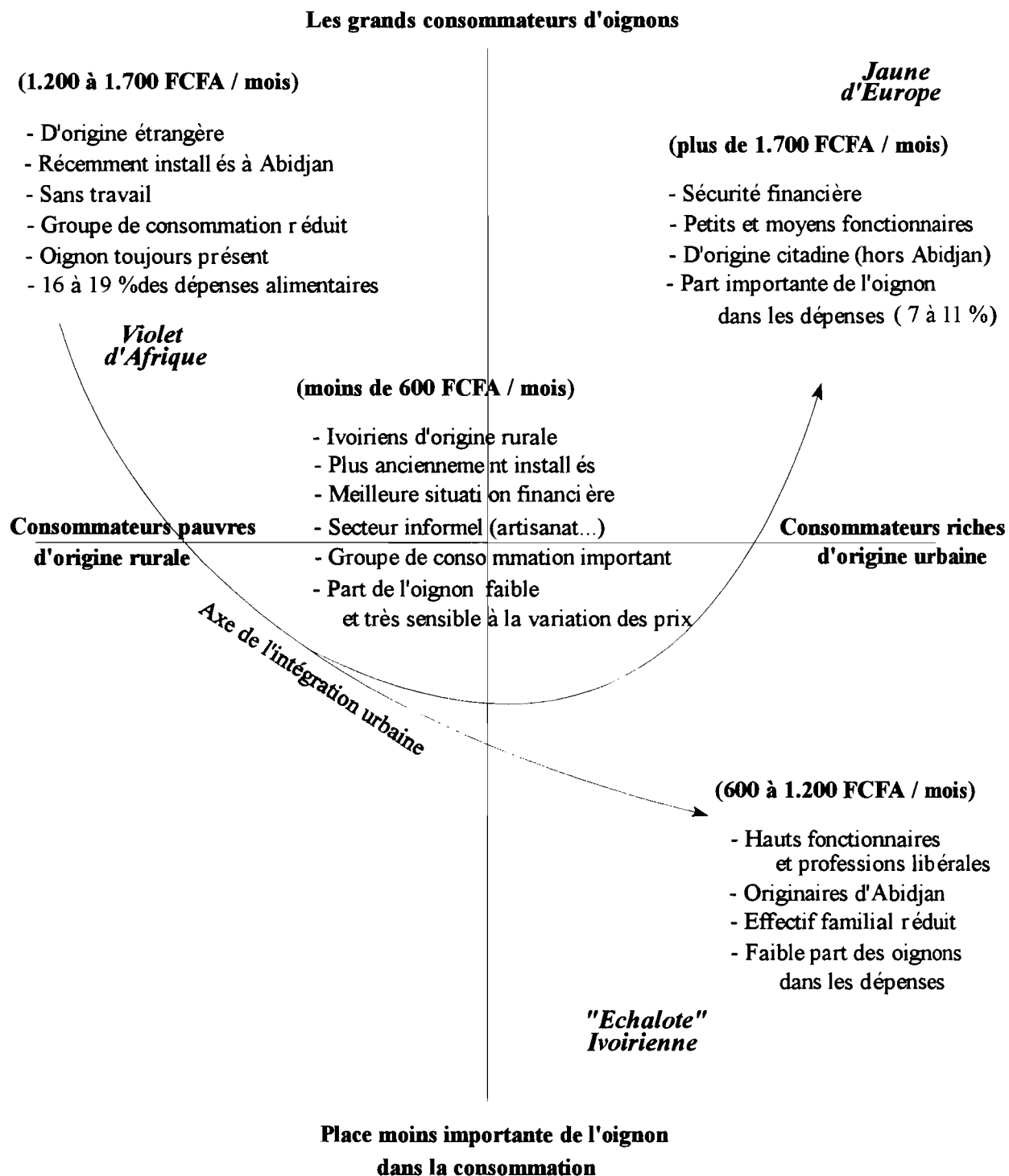
Le marché laisse donc une place de manoeuvre à l'échalote qui peut être mise à profit par les paysans pour évacuer leur production. Cependant, l'accroissement de la production d'échalote peut rencontrer encore quelques contraintes.

Contraintes liées à l'essor de l'échalote en Côte d'Ivoire

Les contraintes d'un essor de l'échalote en Côte d'Ivoire peuvent être de deux sortes : économique et génétique. Au plan économique, la très faible présence de l'échalote sur le marché contribue à l'augmentation de son prix au détail au niveau du consommateur. Par ailleurs, selon les enquêtes menées auprès des ménages d'Abidjan en 1994, les populations d'origine rurale, sans ou à faible revenu, éliminent l'échalote dans leur consommation au profit des gros bulbes d'oignon (importés du Niger et de la Hollande) au fur et à mesure de leur intégration dans le tissu urbain. L'échalote devient ainsi un aliment de luxe réservé aux riches fonctionnaires et autre travailleurs de professions libérales pour lesquels l'intégration urbaine ne constitue plus un enjeu identitaire (graphique 3).

Consommation des oignons et échalotes à Abidjan (octobre 94)

Graphique n°3 :



(Sources : AFC. DAVID O. LASSINA F.)

Un second passage auprès de ces mêmes ménages en 1996 fait ressortir la place croissante qu'occupe l'échalote auprès des urbains modestes vivant dans les logements de type « cour traditionnelle » (tableau II) et qui s'avèrent bien implantés dans la ville mais pour lesquels l'oignon devient trop cher, notamment durant les périodes de pénurie de septembre à décembre. Cette tranche de la population d'Abidjan pourrait faire l'objet d'une investigation particulière, notamment afin de savoir si l'échalote est devenu, à leurs yeux, un produit dont le goût, l'arôme peuvent remplacer l'oignon ; si elle peut reprendre à son compte des fonctions propres à l'oignon comme celle de servir d'épaississant dans les sauces ; si l'épluchage des caïeux demeure un obstacle ou non à la généralisation de ce produit.

Tableau II : Evolution du comportement des consommateurs d'Abidjan à l'égard des oignons et de leurs substitution par les échalotes (1994-1996).

Yopugon-Abidjan	Année	Dép. marché/mois (F CFA)	% oignon. Dép. totale (%)	Oignon/mois/pers (F CFA)	Substitution
Habitat spontané	94	241 500	2,395833333	656,25	Maggi, soumara, pois sec, oignons vert (tige+bulbe)
	96	217 500	2,25	662,5	
Cour traditionnelle	94	251 307,6923	4,505071851	1 749,642505	Oignons, oign. vert, maggi Oignons, échal., oign. vert
	96	302 884,6154	3,356410256	1 953,440799	
Immeuble	94	254 250	4,401960784	1 411,830357	Oignons + divers Ail, akpi, kabké, adjovan
	96	241 312,5	5,882440476	2 100,420168	
Résidence individuelle	94	238 500	2,541666667	1 296,875	Oignons Oignons
	96	180 000	3,5	1 165,178571	
Moyennes	94	250 440	4,15	1 483	
	96	266 520	4,09	1 834	
Croissance	94-96	6	-1	24	

(Sources : Olivier David, enquêtes)

La seconde contrainte principale est liée à la génétique du matériel végétal cultivé par les paysans. En effet, la production de l'échalote se fait actuellement par voie végétative. Le paysan doit donc soit acheter une masse considérable de matériel végétal pour la plantation au champ, soit retirer de la vente une part importante de sa récolte pour les semis de la campagne suivante. Dans tous les cas, le marché demeure toujours demandeur en ce légume. Pour augmenter la disponibilité de l'échalote sur les marchés ivoiriens, au niveau de l'amélioration variétale, la recherche de solutions a débuté par l'organisation d'une collecte d'accessions pour une étude plus approfondie.

APPORT DE L'AMELIORATION VARIETALE

La prospection a permis de collecter une vingtaine d'accessions d'échalotes et de circonscrire une zone de production dans le nord du pays. Il est ressorti qu'une partie de la population de cette région ne cultive pas l'échalote à cause des tabous traditionnels selon lesquels la forte odeur de ce légume « chasse » les génies protecteurs. Au niveau du calendrier cultural, les producteurs ont affirmé que l'échalote est produite en deux périodes de l'année. La première culture s'effectue de juillet à septembre. La seconde va de novembre à février. L'intensification de ce calendrier cultural, avec l'aide de la recherche, pourra permettre une présence continue de ce légume sur le marché puisque certains producteurs pourraient produire, en adaptant leur système de culture, jusqu'à quatre cycles d'échalote par an.

Afin de proposer des axes d'amélioration des accessions collectées, celles-ci ont été morphologiquement caractérisées et évaluées au plan agronomique.

Caractérisation morphologique des accessions d'échalotes

La caractérisation morphologique effectuée en station de recherche a permis de regrouper les différentes accessions d'échalotes selon leur forme, leur couleur et leur calibre. Au niveau de la forme, on distingue les bulbes allongés et les bulbes arrondis. Pour la couleur, ont été identifiés des bulbes jaunes, violets et blancs. Par ailleurs, ils se répartissent tous entre les calibres 10 et 30 mm.

Toutes les accessions se caractérisent par le caractère agrégé des bulbes, c'est-à-dire qu'on dénombre plusieurs petits bulbes non enveloppés, dans une tunique unique, rattachés entre eux à la base. C'est le

caractère général des échalotes (*Allium cepa* var *aggregatum*) en plus de leur mode de reproduction par voie végétative, selon Currah et Proctor (1993). Le tableau III donne les résultats de cette caractérisation morphologique.

Tableau III : Caractérisation morphologique des accessions d'échalotes collectées.

Caractères N° accessions*	Forme	Couleur	Calibre** (mm)
1Jo-Sg	allongée	jaunâtre	10-15
1J-KFNG	allongée	jaune	10-20
1J-Gb	allongée	jaune	20-30
1V-Gb	allongée	violet	20-30
1V-Sk	allongée	violet	10-15
1Jo-Bk	arrondie	jaunâtre	10-15
1V-Dw	arrondie	violet	10-20
1B-SSg	arrondie	blanc	20-30
1B-G	arrondie	blanc	10-20
1B-Tm	allongée	blanc	10-20
1J-Kl	allongée	jaune	10-20
1Jo-Ni-M	arrondie	jaunâtre	20-30
1V-Kl	allongée	violet	10-20
1J-Ks-n	arrondie	jaune	10-20
1Jo-Od-M	arrondie	jaunâtre	10-20
2J-Tm	arrondie	jaune	10-15
1J-Tm	allongée	jaune	10-20
1Jo-Tk	arrondie	jaunâtre	10-15
1V-Tk	arrondie	violet	10-15
1J-Sa	arrondie	jaune	20-30
1Bo-KFB-M	arrondie	blanchâtre	10-20
1J-KZP	allongée	jaune	10-20
1V-KZP	allongée	violet	10-20

(Sources : F. Lassina - IDESSA)

* Le chiffre désigne le nombre d'échantillons, les premières lettres indiquent la couleur et, les suivantes, le village où l'accession a été collectée.

** Le calibre indiqué dans cette colonne mesure le diamètre moyen des bulbes qui sont unis ensemble.

Evaluation agronomique des accessions

Les paramètres retenus pour cette évaluation agronomique ont été la durée du cycle de culture, l'aptitude à la floraison et le rendement. Les résultats de cette évaluation sont représentés dans le tableau IV. Il ressort de l'analyse de ce tableau que les accessions observent dans l'ensemble un cycle court. Cependant, deux principaux groupes ont été distingués. Le premier regroupe les accessions qui observent environ deux mois de cycle contre deux et demie pour celles du second groupe. A l'analyse, on remarque que ce sont les accessions à bulbes blancs qui ont observé les cycles les plus longs. On peut citer, pour exemple, 1Jo-Sg, une accession à bulbes jaunâtre, dont le cycle a été de 57 jours, contre 72 pour 1B-SSg, accession à bulbes blancs. En exploitant ce cycle de culture assez court, l'on pourrait accroître sensiblement la production.

L'étude a permis de déceler quelques accessions d'échalotes qui ont pu monter en graines dans les conditions du nord de la Côte-d'Ivoire. On a noté 20% de floraison chez 1Jo-Ni-M et 1V-Sk, 36% chez 1V-Tk. Au total, 8 accessions ont montré des aptitudes réelles à la montaison en graines avec des pourcentages variables.

L'évaluation du taux de pourriture à la récolte a montré l'existence d'accessions qui y sont sensibles. Avec 30% de bulbes pourris, l'accession 1V-Gb a été la plus sensible. Elle est suivie dans ce sens par 1J-KFNG avec 14% de pourriture.

Quant au rendement, il a été noté que les accessions présentaient des comportements différents. Les rendements nets (caïeux pourris exclus) ont varié de 947 kg/ha (1B-Tm) pour le plus faible à 9 900 kg/ha

(1V-KZP) pour le plus élevé. On a remarqué, cependant, que les accessions à haut rendement ont été les plus sensibles à la pourriture et à la floraison. Avec 8 500 kg/ha, on a obtenu chez 1V-Sk 20% de montaison en graines. De même, 1V-Gb, l'accession la plus sensible à la pourriture (30%) a eu un rendement de 9 500 kg/ha.

Tableau IV : Evaluation agronomique des accessions d'échalote collectées.

Caractères N° accessions	Durée du cycle de culture (jas*)	Aptitude à la floraison (%)	Sensibilité à la pourriture (%)	Rendement** (kg/ha)
1Jo-Sg	57	0	0	1900
1J-KFNG	57	0	14	8095
1J-Gb	57	0	0	4000
1V-Gb	57	10	30	9500
1V-Sk	57	20	0	8500
1Jo-Bk	57	0	1	6086
1V-Dw	72	0	0	5789
1B-SSg	72	0	0	5272
1B-G	72	0	0	2173
1B-Tm	57	0	0	947
1J-Kl	57	0	0	1800
1Jo-Ni-M	57	20	0	1600
1V-Kl	57	0	0	8700
1J-Ks-n	57	0	0	8500
1Jo-Od-M	57	0	0	8800
2J-Tm	57	0	1	9000
1J-Tm	57	0	0	9200
1Jo-Tk	57	5	1	2200
1V-Tk	72	36	0	4166
1J-Sa	57	0	0	2830
1J-KZP	57	0	0	2500
1V-KZP	57	5	9	9900

(Sources : F. Lassina - IDESSA)

* jas = jours après le semis

** Les rendements nets obtenus ici ne sont pas les résultats d'un essai classique avec répétitions à cause du manque de semences.

L'étude des caractères retenus ici peut ouvrir des perspectives à une amélioration variétale qui, si elle fait l'objet d'une opération de sensibilisation et de diffusion auprès des producteurs, peut avoir un impact sur la production (Moustier, 1996).

AXES DE RECHERCHE

Il importe d'approfondir les recherches sur l'échalote afin qu'elle puisse jouer un rôle plus important dans l'approvisionnement du marché ivoirien en alliums. Les investigations doivent se poursuivre tant sur le plan économique que sur le plan génétique. A cet effet, la recherche peut être orientée sur les principaux axes suivants :

- étude approfondie de la consommation rurale et urbaine de l'échalote en Côte d'Ivoire afin de guider les travaux en amélioration variétale. Cette étude permettra de déterminer les besoins du marché en terme de qualité du produit demandé par le consommateur.
- analyse des filières de commercialisation de l'échalote afin de les comparer à celles des oignons et approfondir leur degré de concurrence ou de complémentarité. La revalorisation d'une variété en voie de marginalisation marchande comme l'échalote ivoirienne passe par une compréhension des obstacles à sa commercialisation et de la dynamique des circuits .
- étude des techniques et systèmes traditionnels de production afin de guider la recherche en phytotechnie.

- poursuite de la sélection variétale afin d'entrevoir une possibilité de création variétale en exploitant l'aptitude à la floraison et à la production en bulbes de certaines accessions et observation des caractéristiques de ce nouveau produit (résistance à la pourriture, arôme).

CONCLUSION

Il ressort de ce travail que la Côte d'Ivoire, pour satisfaire ses besoins sans cesse croissants, importe des oignons du Niger, de la Hollande et du Burkina Faso. Malgré la dévaluation du franc CFA, la Côte d'Ivoire importe toujours des oignons d'Europe, quoi qu'en moindre quantité, et le prix au détail de l'oignon a globalement doublé, voire triplé, sur de nombreux marchés du pays. Face aux difficultés croissantes que rencontrent les consommateurs, notamment des grandes villes, l'échalote produite dans le pays peut saisir une opportunité qui lui permettrait de sortir de la marginalisation dans laquelle le marché de l'oignon l'avait maintenu durant ces dernières décennies.

Encore faut-il que les opérateurs impliqués dans le commerce de ce produit contournent quelques obstacles pour satisfaire la demande. Les consommateurs reconnaissent en l'échalote un produit dont le parfum est recherché lors de la préparation des plats. Les urbains les plus aisés la perçoivent comme un produit « du cru », à connotation culturelle. Les ménages plus modestes commencent à y recourir pour remplacer l'oignon lorsque celui-ci devient trop cher (de septembre à décembre). Or cette substitution n'était pas apparue en 1994. Mais l'échalote reste un produit difficile à éplucher du fait de ces trop petits bulbes (caïeux) et son prix demeure dissuasif pour nombre de consommateurs. En effet, l'échalote n'est produite dans chaque exploitation qu'en trop petites quantités. Cela tient à son mode de reproduction par voie végétative. Il en résulte une difficile et coûteuse collecte.

Avec l'aide de la recherche agronomique nationale, les producteurs pourraient être sensibilisés à certaines accessions à cycle court et à fort rendement (1V-Kl, 1J-Ks-n, 1Jo-Od-M, 1J-Tm et 2J-Tm). Ils pourraient également opter pour des accessions à cycle court propices à la floraison (1V-Sk, 1Jo-Ni-M). Et si la commercialisation éclatée de l'échalote pose problème, pourquoi ne pas la favoriser dans les régions de production de l'oignon (le nord du pays) où les circuits de distribution sont déjà bien implantés, dotés d'opérateurs impliqués dans l'approvisionnement de grands marchés (Abidjan).

BIBLIOGRAPHIE

- Currah L. et Proctor F. 1993. La culture et la conservation des oignons sous les tropiques. CTA/NRI, 161p.
- David O. 1996. La filière oignon en Afrique de l'Ouest : essai de quantification. Journée allium. 22 novembre 1996. CIRAD-FLHOR. Montpellier. 15p.
- David O. 1995a. Les circuits de l'oignon en Afrique de l'Ouest ou la filière haussa approvisionnant Abidjan en oignons. CIRAD-FLHOR. Montpellier. 33p.
- David O. 1995b. Les effets de la dévaluation du franc CFA sur les systèmes de production de l'oignon au Niger. Document de travail en économie des filières N°27. CIRAD-FLHOR, Montpellier. 76p.
- Fondio L. et Kouamé N.C. 1995. Collecte et évaluation des oignons en Côte d'Ivoire. Rapport d'activités. Convention IDESSA/NRI. Note technique n°95-6 IDSA/NRI. Bouaké. 32p.
- Fondio L. 1996a. Essai régional d'évaluation des écotypes d'oignon (*Allium cepa* L.) d'Afrique de l'Ouest en Côte d'Ivoire. Rapport d'activités. Convention IDESSA/FAO. Note technique n°96-1 IDSA/FL-PO. Bouaké. 17p.
- Fondio L. 1996b. Evaluation morpho-physiologique des écotypes d'oignon (*Allium cepa* L.) d'Afrique de l'Ouest en Côte d'Ivoire. Rapport d'activités. Convention IDESSA/NRI. Note technique n°96-4-IDSA/Leg. Bouaké. 11p.
- Moustier P. 1995. Organization in the brazzavillian vegetable market. Wye College. University of London. 271 p.
- Moustier P. et Essang T. 1996. Le maraîchage : un diagnostic agro-économique. In Agriculture des savanes du Nord Cameroun. CIRAD. Montpellier. 8p.

SESSION 3

ANALYSE DES FLUX DE GENES

ETUDE DES PRINCIPAUX FACTEURS POUR LA PRESERVATION *IN SITU* D'UNE ESPECE A ALLOGAMIE PARTIELLE : CAS DE LA LEGUMINEUSE ALIMENTAIRE *PHASEOLUS LUNATUS* L.

Baudoin J.P.⁽¹⁾, Degreef J.⁽¹⁾, Zoro Bi I.⁽¹⁾, Maquet A.⁽¹⁾ & Rocha O.⁽²⁾

⁽¹⁾ Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique

⁽²⁾ Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

INTRODUCTION

Les populations sauvages des cultigènes retiennent une attention particulière dans la conservation des ressources phytogénétiques : elles représentent une très large diversité génétique et constituent une source très utile pour l'obtention de nouvelles combinaisons de caractères en amélioration. La préservation de ce matériel sauvage *ex situ* pose plusieurs problèmes qui résultent, notamment, du manque de connaissance de la physiologie, des systèmes de reproduction et de l'adaptation écologique de telles populations (Marshall, 1990 ; Debouck *et al.*, 1993). Par rapport à la conservation dans les banques de graines, la conservation *in situ* se définit comme une stratégie de préservation dynamique qui facilite l'évolution permanente du pool génique des espèces ciblées et qui maintient l'intégrité génétique et le potentiel d'adaptation de chaque population (Brush, 1991 ; Astley, 1992). La conservation *in situ* doit être considérée essentiellement comme une stratégie complémentaire à la conservation *ex situ*.

Dans un programme de conservation *in situ*, l'objectif principal est de préserver autant de variants que possible pour les espèces étudiées, ce qui signifie la capture des allèles rares et localement observés dans un nombre maximum de sites : chacun de ces variants au sein des populations spontanées pourrait contribuer significativement aux nombreux défis posés par la sélection variétale (Marshall & Brown, 1975 ; Chambers, 1983 ; Singh & Williams, 1984).

La mise en place d'un programme de conservation *in situ* implique plusieurs opérations concernant non seulement le matériel végétal ciblé mais aussi la gestion de l'écosystème environnant. Une tâche essentielle consistera à appréhender la structure génétique et la dynamique des populations grâce à l'analyse approfondie de trois facteurs : les systèmes de reproduction (et son déterminant principal : la biologie florale), le flux génique (et ses paramètres : la croissance végétative, la dispersion du pollen et des graines) et la démographie (c'est-à-dire la détermination et l'explication des modifications du nombre d'individus au sein d'une population) (Lande, 1988 ; Brown, 1990 ; Ennos, 1990 ; Kresovich & McFerson, 1992 ; Maquet *et al.*, 1996).

L'ETUDE DE CAS : *PHASEOLUS LUNATUS* L. DANS LA VALLEE CENTRALE DU COSTA-RICA

Dans le cadre d'un projet IPGRI (« International Plant Genetic Resources Institute »), une étude est actuellement conduite sur la dynamique des populations sauvages du haricot de Lima (*Phaseolus lunatus* L.) dans la Vallée Centrale du Costa Rica, considérée comme une région de diversité pour cette légumineuse néotropicale. Le matériel ciblé est constitué de plantes pluriannuelles, se présentant sous la forme de lianes volubiles à croissance indéterminée. La pollinisation est entomophile et l'allogamie facultative. Les résultats des recherches devront pouvoir s'appliquer avantageusement à toute autre espèce présentant un système de reproduction similaire et dont les populations sauvages sont mises en péril.

Située entre 9°54' et 10°07' de latitude nord et 83°50' et 84°28' de longitude ouest, la Vallée Centrale se présente comme un haut plateau d'une superficie de 2 100 km², avec une altitude variant entre 400 et 2 650 m, des précipitations moyennes annuelles fluctuant entre 1 200 et 3 000 mm, des températures moyennes annuelles entre 18°C et 24°C, une alternance saison humide-saison sèche (novembre à avril) et des reliques de végétation forestière humide situées surtout aux hautes altitudes.

Regroupant cinq des sept villes les plus importantes du pays (dont la Capitale San José), la Vallée Centrale subit une forte pression démographique (500 habitants/km²) et ses corollaires : urbanisation désordonnée, déforestation et intensification du secteur agricole (principalement caféiculture, pâturages et plantation de canne à sucre). Les missions effectuées par l'« Escuela de Biología » de l'Université de San José depuis 1992 ont permis de recenser plus de 400 populations sauvages, situées majoritairement entre 1 050 et 1 250 m d'altitude. Ces populations souvent de petites tailles (72% de moins de 10 individus, 16% avec plus de 50 individus) sont principalement localisées dans des sites perturbés par l'activité humaine : bordure de chemins ou de routes, jardins familiaux des zones urbaines et caféières traditionnelles ou intensives. Caféiers, arbres d'ombrage (érythrine et euphorbe), agaves et clôtures servent de support aux tiges et ramifications latérales de ces haricots grimpants à croissance indéterminée. De nombreuses populations sauvages sont menacées d'extinction et chaque année les plus exposées aux actions anthropiques disparaissent, justifiant ainsi l'urgence d'un programme de conservation *in situ*.

LES SYSTEMES DE REPRODUCTION ET LA BIOLOGIE FLORALE DE *P. LUNATUS*

Chez *P. lunatus*, l'inflorescence est un racème de racèmes où les entre-noeuds des axes secondaires sont tellement rapprochés que les fleurs paraissent insérées directement sur le rachis principal. Chez les populations sauvages de la Vallée Centrale, ce rachis porte 10 à 20 noeuds, chacun portant 1 à 5 boutons floraux. La fleur du haricot de Lima est une fleur de légumineuse typique, présentant la structure des papilionacées (Baudoin, 1991). L'autogamie de l'espèce est favorisée par plusieurs facteurs : réceptivité stigmatique précédant l'ouverture florale, proximité des anthères et du stigmate lors de l'anthèse, maturité quasi synchrone du pollen et du stigmate (Webster *et al.*, 1979 ; Baudoin, 1991). Dans la Vallée Centrale, les populations sauvages de *P. lunatus* fleurissent durant la saison sèche (mi-novembre à mi-février). Les fleurs s'ouvrent entre 7 h et 11 h du matin et se flétrissent la nuit suivante. Selon Hardy (1995), l'indice de Cruden (rapport entre le nombre de grains de pollen et le nombre d'ovules) est de 863, ce qui correspond à un système de reproduction qualifié d'allogamie facultative. L'allofécondation est favorisée par l'expulsion aisée du style par le butineur (généralement des abeilles) ainsi que par la période prolongée de réceptivité stigmatique (Webster *et al.*, 1979).

Selon Fisher & Weaver (1974), une humidité relative élevée, de basses températures nocturnes et une haute teneur hydrique du sol sont trois conditions favorisant la nouaison et le développement des fleurs de *P. lunatus*. La fécondation se réalise moins de 24 h après la germination du pollen. Au minimum un ovule par pistil doit être fécondé pour empêcher l'abscission de la fleur (Lambeth, 1950). Sur le terrain, des taux très élevés (entre 76 et 83%) de fleurs et de jeunes gousses peuvent avorter (Rappaport & Carolus, 1956). Sur une plante, les premières inflorescences sont en général plus productives que les dernières développées ; sur chaque inflorescence, les fleurs des noeuds inférieurs donnent plus de gousses que celles situées sur les noeuds supérieurs : l'allocation des ressources et la disponibilité limitée des assimilats expliquent ces différences dans la fructification (Baudoin, 1991).

Chez les plantes sauvages du haricot de Lima dans la Vallée Centrale, chaque gousse contient entre 3 et 5 graines. Ces graines sont expulsées des gousses à maturité et projetées à distance grâce à la torsion rapide des valves. *P. lunatus* manifeste un comportement « baliste » lors de la déhiscence des gousses, avec une dispersion des graines qui peut être différente suivant la position et le poids des graines dans chaque gousse.

LA STRUCTURE GENETIQUE DES POPULATIONS SAUVAGES

1. Les paramètres de la génétique des populations

La structure génétique est étudiée chez 20 populations qui ont été choisies dans des sites représentatifs de la diversité écologique des régions de la Vallée Centrale. Des électrophorèses isoenzymatiques sont conduites à partir de graines récoltées aléatoirement ou suivant un maillage précis dans chacune des populations sélectionnées. La technique électrophorétique a été mise au point par Maquet *et al.* (1996) ; la diversité des allozymes est évaluée au niveau de l'espèce, à l'intérieur de

chaque population et entre les populations, en se basant sur les principaux paramètres de la génétique des populations (Nei, 1973, 1987 ; Brown *et al.*, 1990 ; Hamrick & Godt, 1990 ; Hoelzel, 1992).

Pour l'ensemble des loci testés, les premiers résultats montrent une distribution uniforme de plusieurs allèles dans la Vallée. Certains allèles manifestent cependant une distribution plus limitée à des régions climatiquement différentes : cela pourrait indiquer une pression de sélection exercée par le milieu, du moins pour certains allèles (Maquet *et al.*, 1996).

Au niveau de l'espèce, le pourcentage de loci polymorphes ($P = 50,0$) et la diversité génétique moyenne ($H = 0,146$) ont des valeurs proches de celles observées chez des espèces annuelles, à allofécondation entomophile et facultative (Hamrick & Godt, 1990). Le nombre moyen d'allèles par locus ($A = 1,50$) est similaire à celui observé chez des espèces pérennes, de cycle de croissance court et combinant auto- et allofécondation (Maquet *et al.*, 1996). Au niveau intrapopulation, les valeurs P ($= 13,0$), A ($= 1,14$) et H ($= 0,029$) sont très faibles. Au niveau interpopulation, la diversité génétique totale ($H_t = 0,296$) est très proche de celle observée chez des espèces pérennes à cycle de croissance court et à allofécondation facultative et entomophile (Maquet *et al.*, 1996). Par contre, la diversité intrapopulation est très faible ($H_s = 0,058$), nettement inférieure à celle observée chez des espèces annuelles et autogames (Hamrick & Godt, 1990). Ainsi, 80% de la diversité totale est observée entre les populations sauvages de la Vallée Centrale, comme indiquée par la valeur D_{st} ($= 0,238$) traduisant la différence entre H_t et H_s . En conséquence, le coefficient de différenciation génique ($G_{st} = 0,803$) pour notre matériel est largement supérieur à celui observé chez des espèces annuelles et autogames. La faible valeur obtenue pour H_s pourrait être due à une dispersion limitée du pollen et des graines.

Tous ces résultats indiquent une tendance à l'autogamie dominante des populations spontanées de la Vallée Centrale. L'indice de fixation moyen ($F = 0,79$) est très proche de la valeur donnée par Brown (1990) pour des espèces autogames dominantes. Suivant les populations analysées, nous obtenons un pourcentage d'allofécondation variant entre 0 et 21% mais avec deux tendances générales : un déficit en hétérozygotes et une divergence dans la proportion des génotypes par rapport à la loi d'équilibre de Hardy-Weinberg.

2. Les patrons de la structure génétique

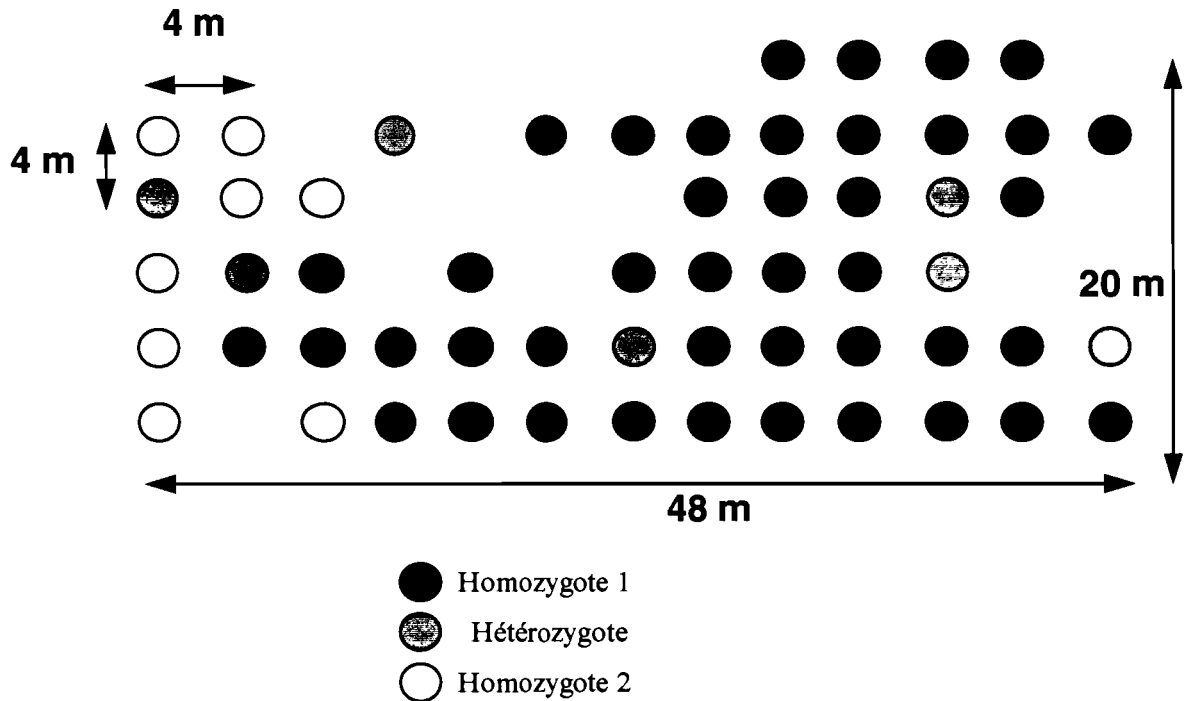
Selon Maquet *et al.* (1996), trois facteurs pourraient expliquer cet écart par rapport à la loi des populations en équilibre :

- le chevauchement des générations sur un même site et à la même période ;
- l'effet de fondation généré par la destruction anthropique de certaines populations et la recolonisation de sites à partir des individus survivants ou de la banque de graines présente dans le sol ;
- la structuration d'une population en sous-populations, entre lesquelles les fécondations croisées naturelles sont limitées.

Pour vérifier cette dernière hypothèse, une étude de la distribution spatiale des génotypes a été réalisée chez deux populations de la Vallée Centrale : une population bidimensionnelle désignée E95 et une population linéaire J48 (Zoro Bi *et al.*, 1997). L'étude a porté sur trois loci enzymatiques : ADH2, MDH2 et PGM2. Les figures 1 et 2 montrent la distribution spatiale des génotypes au locus PGM2 et MDH2, respectivement pour la population E95 et pour la population J48. Chacun des génotypes maternels analysés est localisé sur le site grâce à un maillage ou un transect précis. La distribution observée dans ces deux populations laisse supposer une structuration en sous-populations : sur la base de la nature des génotypes, deux groupes opposés apparaissent sur le site, séparés par des génotypes hétérozygotes. Une telle subdivision pourrait provenir de la jonction récente de deux sous-populations caractérisées par des fréquences alléliques différentes. Les hétérozygotes nouveaux seraient le résultat d'hybridations naturelles entre les deux sous-populations. Une telle situation pourrait être observée chez d'autres populations spontanées de la Vallée Centrale, où des événements d'extinction et de recolonisation sont fréquents dans des sites perturbés par les activités humaines. Ainsi dans les caféières ou en bordure des routes, le sarclage manuel ou l'application d'herbicides entraîne à certaines époques l'élimination de plusieurs plantes au sein des populations. La recolonisation de ces sites est par contre favorisée par la présence de graines dans le sol et par le transport des graines sur de longues distances (via les outils agricoles, les vêtements,

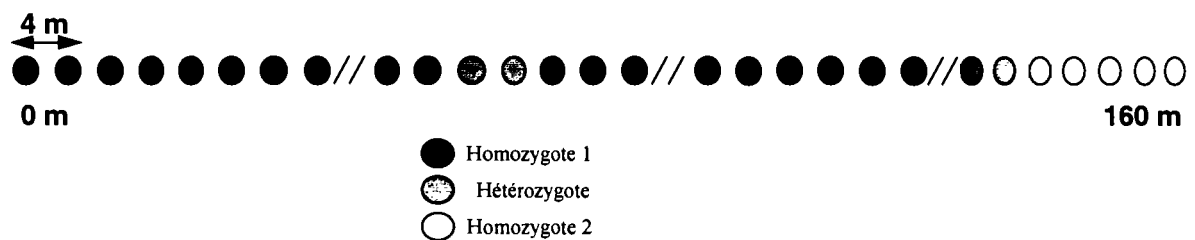
l'hydrochorie ou la dyszoochorie). Il est évident qu'une telle subdivision observée au sein d'une population modifiera la manière de collecter les graines si l'on veut préserver la diversité originelle de cette population.

Figure 1 : Structure génotypique de la population E95 au locus *PGM2*.



(source : Zoro Bi *et al.*, 1997)

Figure 2 : Structure génotypique de la population J48 au locus *MDH2*.



(source : Zoro Bi *et al.*, 1997)

LE FLUX GENIQUE

Le flux génique est directement responsable de la distribution de la variabilité génétique parmi les populations sauvages maintenues *in situ*. Au niveau intra-population, ce flux génique se base essentiellement sur la détermination de deux paramètres analytiques définis par Wright (1943, 1946) : l'aire de voisinage (N_A), qui est une mesure de l'étendue du flux génique intra-population, et la taille efficace de voisinage (N_b), qui est le nombre de reproducteurs « efficaces » au sein d'une aire de voisinage. Plus la valeur de N_b est petite, plus forte sera la dérive génétique au sein d'une aire de voisinage, et, conséquemment, la structuration génétique de la population concernée. Le calcul de ces

deux paramètres se base sur la dissémination spatiale des gamètes et génotypes, dissociée en trois composantes de dispersion : la dispersion des fleurs (σ_v^2), liée à la croissance végétative ; la dispersion du pollen (σ_p^2) ou flux pollinique, liée au comportement des pollinisateurs (du moins pour une espèce entomogame) et la dispersion des graines (σ_s^2) au moment de la déhiscence des gousses mûres. Ces trois composantes contribuent à la dispersion spatiale des descendants de leurs progéniteurs et permettent une détermination plus précise de l'aire de voisinage, selon la formule de Gliddon et al. (1987) : $N_A = 4 \pi (\frac{1}{2} t \sigma_p^2 + \sigma_v^2 + \sigma_s^2)$ avec t = taux d'allopécundation de la population étudiée.

Pour estimer le flux génique intra-population, nous avons choisi dans la Vallée Centrale quatre populations spontanées situées dans deux sites écologiques. Afin de suivre le flux pollinique, les grains de pollen d'individus centraux ont été marqués *in vivo* à l'aide de plusieurs colorants en solution aqueuse (Hardy, 1995). Lors de la pollinisation (effectuée essentiellement par des abeilles domestiques), nous avons collecté des fleurs environnantes appartenant à des plantes localisées de manière précise sur une grille et leurs stigmates ont été observés au microscope (10x) pour détecter la présence de grains de pollen colorés. Afin de mesurer la dispersion des fleurs chez un individu unique, plusieurs plantes et leurs ramifications latérales au sein des populations choisies ont été isolées, ce qui a permis de calculer la distance horizontale séparant chaque fleur étiquetée de la tige mère. La densité moyenne des plantes adultes (d) a aussi été estimée pour les populations choisies, dans le but de déterminer la taille efficace de voisinage $Nb \approx N_A \cdot d \cdot (1+t)/2$. Enfin pour évaluer la dispersion des graines à partir des plantes-mères, des graines ont été colorées au sein de gousses en maturation grâce à une solution de cinq pigments fluorescents dilués dans l'acétone. Chacun des cinq pigments utilisés a permis de différencier des groupes de gousses sur la même plante. La détection des graines pigmentées dispersées s'est faite la nuit sur un sol dégagé de toute végétation et avec l'aide d'une lampe U.V. Le rayon de chaque aire nettoyée correspond à 1,5 fois la hauteur de la plante-mère. Pour chaque individu sélectionné, les distances horizontales séparant le pied mère des gousses ainsi que les distances verticales séparant les gousses du sol ont été mesurées.

Chez toutes les populations étudiées, la dispersion pollinique par rapport aux génotypes maternels est limitée à des distances souvent inférieures à 1 m, ce qui correspond aux distances de vol des butineurs impliqués dans la pollinisation du haricot de Lima, en l'occurrence les abeilles domestiques. Une première estimation de la variance de dispersion du pollen donne une valeur de $\sigma_p^2 = 1,7 \text{ m}^2$. La valeur réelle de transport est probablement plus importante en raison des transferts à longue distance non détectés. La variance de dispersion des fleurs σ_v^2 est de $2,7 \text{ m}^2$, avec des valeurs extrêmes de $0,35$ et $10,96 \text{ m}^2$: cette variabilité s'explique par la croissance végétative du haricot de Lima et sa propension à s'étendre horizontalement ou verticalement sur tout support. Les graines de *P. lunatus* sont trop lourdes pour être disséminées par le vent ; la forte teneur en glucoside cyanogénétique observée chez les populations sauvages et la structure lisse des graines empêchent également leur dissémination par des rongeurs ou des oiseaux. C'est surtout la déhiscence des gousses à maturité qui contribue à la dispersion des graines : la valeur moyenne de dispersion σ_s^2 est de $1,68 \text{ m}^2$, avec des extrêmes de $1,34$ et $2,46 \text{ m}^2$ (Janart, 1996).

Tenant compte d'un taux d'allogamie moyen $t = 0,1$ (Maquet et al., 1996) et d'une densité moyenne des plantes adultes de $0,235 \text{ plantes/m}^2$: $N_A = 56 \text{ m}^2$ et $Nb = 7,23$ individus. En se basant sur les travaux de Wright (1943, 1946), nous pouvons nous attendre avec $Nb < 20$ à une différenciation génétique locale relativement importante. Comme les populations échantillonnées dans notre étude occupent une surface variant entre 100 et $1\,000 \text{ m}^2$, elles pourraient être subdivisées en plusieurs aires de voisinage. Cette constatation suggère, dans notre cas, une distribution allélique intra-population hautement structurée.

LA DEMOGRAPHIE

L'étude de la démographie des populations sauvages de la Vallée Centrale constitue un aspect essentiel de la mise en place de stratégies de conservation *in situ*. Elle a comme objectif essentiel de mesurer, décrire et expliquer les changements dans le nombre des individus d'une population. Elle se base sur la détermination de plusieurs paramètres, en particulier : la fécondité, la survie, la croissance et la mortalité de chaque individu. Toutes ces valeurs sont intégrées dans des matrices de projections, tels que définies par Caswell (1986, 1989), van Groenendaal et al. (1988). Ces matrices permettent

une interprétation complète des données démographiques ainsi qu'une estimation des taux de croissance, de l'évolution des stades de développement et de l'âge des individus d'une population ; elles permettent aussi d'identifier les facteurs limitants dans le maintien *in situ* des populations.

Pour réaliser cette étude démographique, nous avons sélectionné six populations dans différentes régions climatiques de la Vallée et dans des sites non perturbés par l'activité anthropique. Dans chaque site, plusieurs quadrats de 1 m² ont été délimités pour l'échantillonnage des individus faisant l'objet des différentes observations et mesures. Celles-ci ont porté sur la dynamique de la banque de graines présente dans le sol (« soil seed bank ») ainsi que sur les données suivantes, collectées mensuellement :

- l'émergence des plantules à l'intérieur des quadrats,
- la croissance en diamètre de chaque individu, mesurée sur la tige principale à 2 cm de la surface du sol,
- le stade de développement de chaque individu, identifié par les caractéristiques morphologiques de l'appareil foliaire et le degré de lignification des tiges,
- la fécondité individuelle, mesurée à partir du nombre total de graines produites par une plante durant la période de maturation,
- le taux de mortalité dans l'année en fonction du stade de développement de la plante analysée.

La présence d'une réserve de graines dans le sol pourrait jouer un rôle déterminant dans la dynamique des populations sauvages du haricot de Lima. Des échantillonnages de sol ont ainsi été réalisés en périphérie des quadrats, dans plusieurs strates successives de 1 cm de profondeur. Pour chaque population et pour chaque quadrat, le nombre moyen de graines par strate et le pourcentage moyen de germination en milieu contrôlé ont été déterminés. Afin d'estimer la proportion des semences participant aux générations successives, nous avons enfoui à proximité de chaque quadrat trois plateaux contenant un échantillon de sol prélevé à proximité de la parcelle. A la surface de chacun d'eux, ont été déposées 50 graines fraîches marquées d'un point de couleur et provenant de plantes-mères situées à proximité des quadrats. Chaque année, à la fin de la saison sèche, nous avons enregistré le taux annuel de germination dans chaque plateau.

Toutes les données collectées après deux années d'étude ont permis d'établir un premier modèle démographique sur la base du comportement de plus de 3 000 individus étiquetés dans les six populations choisies (Degreef *et al.*, 1997). Le graphe de cycle de vie, indiqué à la figure 3, résume la dynamique des six populations, en se référant au modèle conçu par Hubbel & Werner (1979). Afin de suivre le cycle de vie de chaque individu, six stades de développement ont été identifiés :

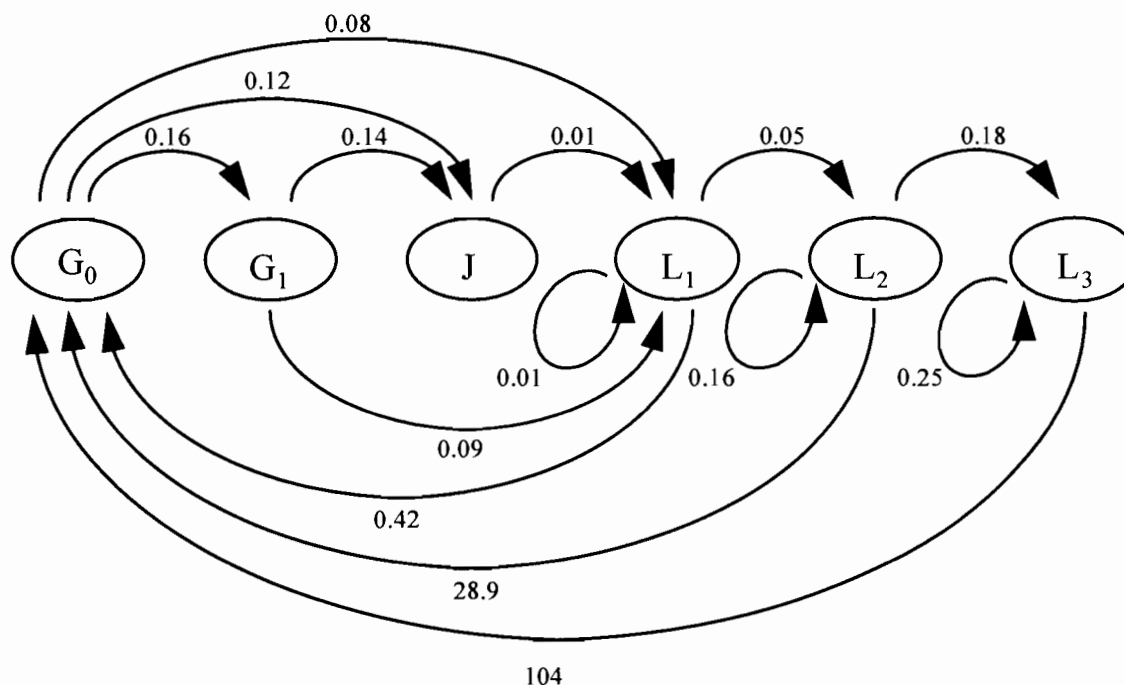
- G₀ représentant les graines de l'année (année 0),
- G₁ représentant les graines non germées, après un an de séjour dans le sol,
- J regroupant les individus infécondés définis comme juvéniles (diamètre de la tige principale inférieur à 1,4 mm),
- L₁, L₂ et L₃ regroupant les individus à tiges ligneuses (diamètre respectif de la tige principale : entre 1,4 et 3,6 mm, entre 3,6 et 9,7 mm, supérieur à 9,7 mm).

Toutes les transitions possibles d'un stade à l'autre au cours d'une même année sont indiquées sur le diagramme. Les probabilités correspondant à ces passages aident à construire une matrice de projection (Silvertown *et al.*, 1993 ; Bullock *et al.*, 1994 ; Shea *et al.*, 1994) dont la valeur propre dominante est égale au taux de croissance de la population constituée par l'ensemble des individus étiquetés (= 0,7593). Cette valeur, correspondant à une population sauvage moyenne, confirme la précarité du maintien de plusieurs populations de haricot de Lima dans la Vallée Centrale. L'intérêt majeur de l'utilisation des matrices de projection provient cependant de la possibilité de déterminer la sensibilité du taux de croissance de la population à un quelconque changement au sein d'une des classes qui la constituent. Ce type d'analyse, appelé analyse de sensibilité, permet de déterminer quelle phase du cycle de vie des individus est la plus critique dans le maintien de la population. Dans notre cas, les résultats de l'analyse indiquent la nécessité de favoriser la croissance des plantes au stade L₁, en d'autres termes des individus en début de vie reproductive.

Suivant la simulation, une mise en défens de ces individus peut être envisagée et couplée à la suppression des individus juvéniles avoisinants afin de diminuer la concurrence quant à l'approvisionnement en eau et en éléments minéraux. En effet, la très faible contribution de la transition du stade J au stade L₁ au maintien de la population suggère que l'élimination, en fin de

saison sèche, des individus non lignifiés affaiblis par le stress hydrique ne devrait pas mettre la population en danger. Cette hypothèse est confirmée par l'importance d'une transition directe du stade G_0 au stade L_1 sans passage de l'individu par le stade J intermédiaire lors d'une année supplémentaire. La transition d'une graine fraîche vers le stade L_1 est cependant conditionnée par sa germination précoce en début de saison des pluies. La plante formée sera ainsi lignifiée au moment d'affronter la saison sèche, période de mortalité maximale des individus.

Figure 3 : Graphe de cycle de vie d'une « population sauvage moyenne » du haricot de Lima.



(source : Degreef *et al.*, 1997)

Des simulations faites sur la base de la matrice de projection avec l'aide du logiciel « Unified Life Models » (Legendre & Clobert, 1995) ont montré que dans les mêmes conditions environnementales la population sauvage moyenne disparaîtra à l'issue de la 32e génération ; ces simulations indiquent aussi qu'une coupe unique des plantes pendant la saison sèche réduira son espérance de vie de 10 ans (c'est-à-dire une réduction de plus de 30%).

CONCLUSIONS

L'objectif d'un programme de conservation des ressources phylogénétiques est de maintenir la diversité génétique la plus large possible au niveau inter- et intrapopulation. La dynamique évolutive de cette diversité sera assurée grâce à la préservation *in situ* des populations protégées, ce qui impliquera nécessairement une gestion appropriée des plantes étudiées mais aussi des milieux auxquels elles sont inféodées. Ceci est clairement démontré par l'étude des populations sauvages de *P. lunatus* dans la Vallée Centrale du Costa Rica.

L'électrophorèse isoenzymatique met surtout en évidence une variabilité génétique interpopulation avec, pour certains allèles, une distribution étroite sous la dépendance probable de facteurs écologiques. Dans la méthodologie d'échantillonnage, il sera dès lors essentiel d'identifier les populations les plus représentatives dans chacune des zones écologiques de la Vallée. Comme certaines populations peuvent être subdivisées, le collecteur devra obligatoirement échantillonner dans différents endroits de la population.

L'étude du flux génique montre une aire de voisinage limitée pour les populations sauvages. La structuration qui en résulte peut donc être un facteur important, entraînant une fixation de certains allèles. La réintroduction de génotypes menacés à des intervalles de temps réguliers permettrait de maintenir l'intégrité génétique de certaines populations menacées.

Les bénéfices d'une gestion rationnelle des populations de la Vallée sont bien mis en évidence par les simulations établies à partir du modèle démographique. La production de graines chez le haricot de Lima sera notamment stimulée par le report des opérations de sarclage des caféières jusqu'au début de la saison humide. Une telle pratique évitera l'impact négatif que pourrait avoir un entretien des caféières en saison sèche sur la dynamique des populations sauvages. De plus une germination précoce sera induite grâce au sarclage du sol à proximité des plantes adultes productives. La survie des individus ligneux, constituant le potentiel de renouvellement de la population, sera garantie par la suppression des plantes juvéniles situées à proximité, réduisant ainsi la compétition pour l'eau et les éléments nutritifs.

La mise en place d'un programme de conservation *in situ* ne peut évidemment se concrétiser sans l'assentiment et la participation des populations humaines vivant dans les régions ciblées. Dans notre cas, il est indispensable de conduire des actions de sensibilisation auprès des agriculteurs de la Vallée Centrale, notamment des caféiculteurs, et de les intégrer, dans une approche participative, aux diverses activités de maintien des populations sauvages du haricot de Lima.

BIBLIOGRAPHIE

- Astley D. (1992). Preservation of genetic diversity and accession integrity. *Field Crops Res.* 29 : 205-224.
- Baudoin J.P. (1991). La culture et l'amélioration de la légumineuse alimentaire *Phaseolus lunatus* L. en zones tropicales. Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA), Ede, Pays-Bas et Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux (FSAGx), Belgique.
- Brown A.H.D. (1990). Genetic characterization of plant mating systems. *In* : Brown A.H.D., Clegg M.T., Kahler A.L. & Wein B.S. (eds.). *Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources*, pp.145-162. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Brown A.H.D., Clegg M.T., Kahler A.L. & Wein B.S. (1990). *Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources*. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Brush S.B. (1991). A farmer-based approach to conserving crop germplasm. *Econ. Bot.* 45(2) : 153-165.
- Bullock J.M., Clear Hill B. & Silvertown J. (1994). Demography of *Cirsium vulgare* in a grazing experiment. *J. Ecol.* 82 : 101-111.
- Caswell H. (1986). Life cycle models for plants. *Lectures on Mathematics in the Life Sciences* 18 : 171-233.
- Caswell H. (1989). Matrix population models. Construction, analysis, and interpretation. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Chambers S.M. (1983). Genetic principles for managers. *In* : Schonewald-Cox C.M., Chambers S.M., MacBryde B. & Thomas W.L. (eds.). *Genetic and Conservation*, pp. 15-46. Benjamin/Cummings, Menlo Park, CA, USA.
- Debouck D.G., Toro O., Paredes O.M., Johnson W.C. & Gepts P. (1993). Genetic diversity and ecological distribution of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) in northwestern South America. *Econ. Bot.* 47(4) : 408-423.
- Degreef J., Baudoin J.P. & Rocha O.J. (1997). Case studies on breeding systems and its consequences for germplasm conservation. 2. Demography of wild Lima bean populations in the Central Valley of Costa Rica. *Genet. Resour. and Crop Evol.* 44 : 1-10.
- Ennos R.A. (1990). Detection and measurement of selection : genetic and ecological approaches. *In* : Brown A.H.D., Clegg M.T., Kahler A.L. & Wein B.S. (eds.). *Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources*, pp. 200-214. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Fisher V.J. & Weaver C.K. (1974). Flowering, pod set, and pod retention of Lima beans in response to night temperature, humidity and soil moisture. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 99 : 448-450.

- Gliddon C., Belhassen E. & Gouyon P.H. (1987). Genetic neighbourhoods in plants with diverse systems of mating and different patterns of growth. *Heredity* 59 : 29-32.
- Hamrick J.L. & Godt M.J.W. (1990). Allozyme diversity in plant species. *In*: Brown A.H.D., Clegg M.T., Kahler A.L. & Wein B.S. (eds.). *Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources*, pp. 43-63. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Hardy O. (1995). Etude de la biologie florale et du flux génique chez les populations sauvages du haricot de Lima au Costa Rica. Travail de fin d'études, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgium.
- Hoelzel A.R. (1992). *Molecular genetic analysis of populations - A practical approach*. The Practical Approach Series, IRL Press, Oxford, UK.
- Hubbel S.P. & Werner P.A. (1979). On measuring the intrinsic rate of increase of populations with heterogeneous life histories. *Amer.Nat.* 113(2) : 277-293.
- Kresovich S. & McFerson J.R. (1992). Assessment and management of plant genetic diversity : consideration of intra- and interspecific variation. *Field Crops Res.* 29 : 185-204.
- Janart F. (1996). Impact du développement végétatif et de la dispersion des graines sur le flux génique au sein des populations sauvages de *Phaseolus lunatus* L. dans la Vallée Centrale du Costa Rica. Travail de fin d'études. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique.
- Lambeth V.N. (1950). Some factors influencing pod set and yield of the Lima bean. *Res. Bull. Mo. Agric.; Exp. Stn.* 466 : 1-60.
- Lande R. (1988). Genetics and demography in biological conservation. *Science* 241 : 1455-1460.
- Legendre S., & Clobert J. (1995). ULM, a software for conservation and evolutionary biologists. *J. Appl. Stat.* 22 (5&6) : 817-834.
- Maquet A., Zoro Bi I., Rocha O.J. & Baudoin J.P. (1996). Case studies on breeding systems and its consequences for germplasm conservation. 1. Isoenzyme diversity in wild Lima bean populations in central Costa Rica. *Genet. Resour. and Crop Evol.* 43 : 309-318.
- Marshall D.R. (1990). Crop genetic resources: current and emerging issues. *In*: Brown A.D.H., Clegg M.T. & Wein B.S. (eds.). *PlantG, Breeding and Genetic Resources*, pp. 367-388. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Marshall D.R. & Brown A.D.H. (1975). Optimum sampling strategies in genetic conservation. *In*: Frankel O.H. & Hawkes J.G. (eds.). *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow*, pp. 53-80. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Nei M. (1973). Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA* 70, 12(1) : 3321-3323.
- Nei M. (1987). *Molecular Evolutionary Genetics*. Columbia University Press, New York, USA.
- Rappaport L. & Carolus R.L. (1956). Effects of night temperature at different stages of development on reproduction in the Lima bean. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 67 : 421-428.
- Shea K., Rees M. & Wood S.N. (1994). Trade-offs, elasticities and the comparative method. *J. Ecol.* 82 : 951-957.
- Silvertown J., Franco M., Pisanty I. & Mendoza A. (1993). Comparative plant demography - relative importance of life-cycle components to the finite rate of increase in woody and herbaceous perennials. *J. Ecol.* 18 : 465-476.
- Singh R.B. & Williams J.T. (1984). Maintenance and multiplication of plant genetic resources. *In*: Holdes J.H.W. & Williams J.P. (eds.). *Crop Genetic Resources : Conservation and Evaluation*, pp. 120-130. George Allen & Urwin, London, England.
- van Groenendael J., de Kroon H. & Caswell H. (1988). Projection matrices in population biology. *Trends Ecol. Evol.* 3 : 264-269.
- Webster B.D., Lynch S.P. & Tucker C.L. (1979). A morphological study of the development of reproductive structures of *Phaseolus lunatus* L. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104 (2) : 240-243.
- Wright S. (1943). Isolation by distance. *Genetics* 28: 114-128.
- Wright S. (1946). Isolation by distance under diverse mating systems. *Genetics* 31: 39-59.
- Zoro Bi I., Maquet A. & Baudoin J.P. (1997). Spatial patterns of allozyme variants within three wild populations of *Phaseolus lunatus* L. from the Central Valley of Costa Rica. *Belg.Journ.Bot.* 129(2): 149-155.

ORGANISATION ET GESTION DE LA DIVERSITE GENETIQUE DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

Zeh-Nlo M. (1), Joly H.(2) et Sarr A. (3)

(1) Université de Dschang, Cameroun - (2) CIRAD-Forêt, Montpellier - (3) Université d'Orsay

Faidherbia albida est un arbre qui peut atteindre 30 m de haut et 1,80 m de diamètre à hauteur d'homme. L'aire naturelle couvre la zone sèche d'Afrique, principalement les régions sous climat tropical sec de type soudano-sahélien (Wickens, 1969). L'espèce pousse sur sol sablo-argileux, sur des colluvions, des vertisols et des sols alluviaux cultivés où elle constitue des peuplements denses appelés parcs à *Faidherbia albida* (Wood, 1992).

Brenan (1959) a mis en évidence deux races qui se distinguent principalement par l'aspect glabre (race A) ou pubescent (race B) des jeunes branches, du périanthe, des feuilles. La partie sud de l'aire est occupée par la race B. En Afrique occidentale les races sont en mélange avec des formes intermédiaires. L'absence d'un ensemble de caractéristiques discriminantes rend toutefois difficile la distinction sur le terrain.

L'espèce est diploïde $2n = 26$ (Atchison, 1948). Toutefois des formes tétraploïdes ont été décrites en Israël (Aloni, 1973). La structure des fleurs généralement hermaphrodite peut favoriser l'autofécondation (Zeh-Nlo et Joly, 1992). *Faidherbia albida* est monoïque ; la pollinisation est entomophile (Tybirk, 1991).

L'étude de la diversité génétique par les marqueurs enzymatiques de 22 provenances a montré que cette espèce est très variable ($H = 0.454$, taux d'hétérozygotie attendue sous hypothèse de panmixie ; Joly et al, 1992). La différenciation entre populations met en évidence 3 groupes : les populations d'Afrique australe, les populations éthiopiennes et les populations d'Afrique de l'Ouest. Le rythme saisonnier de feuillaison et de défeuillaison est inversé par rapport à celui d'autres espèces : la floraison et la fructification se déroulent en saison sèche. L'intérêt de *Faidherbia albida* dans les agrosystèmes de zones sèches d'Afrique porte essentiellement sur l'association bénéfique à l'élevage et à la culture de saison chaude et humide. Les gousses et les feuilles rentrent largement dans l'alimentation du bétail. Pour cette raison, les arbres sont émondés par les éleveurs. Son influence bénéfique sur les cultures associées (mil, sorgho, arachide) a favorisé la multiplication et la protection (Chareteau et Vidal, 1965). Louppe (1990) a montré qu'en zone sahélienne les céréales ont sans contexte un rendement bien meilleur sous les parcs à *Faidherbia albida*.

PROBLEMATIQUE

Dans le Nord Cameroun et de manière générale en Afrique sèche, les peuplements de *Faidherbia albida* illustrent un type de paysage entretenu par l'homme. L'aspect de ces parcs, leur densité et leur répartition spatiale sont souvent considérés comme des indicateurs de type de sylviculture menée par les cultivateurs pour utiliser et préserver l'espèce. Toutefois, dans bien de régions, les parcs à *Faidherbia albida* subissent une exploitation excessive. Depommier et Guérin (1996) relatent que l'augmentation importante de l'émondage compromet fortement la reproduction et réduit fortement la production en gousses lorsqu'il ne laisse plus que quelques branches maîtresses. Par ailleurs, les menaces d'appauvrissement des ressources génétiques de *Faidherbia albida* sont liées à l'extinction de populations. A ce titre il faut signaler la régression inquiétante de *Faidherbia albida* dans la région de Makary (Nord Cameroun) entre 1990 et 1992 (Zeh-Nlo, communication personnelle).

Parallèlement, les actions de conservation engagées restent largement insuffisantes (Palmberg, 1981), d'autant plus :

- qu'en raison de sa prévalence dans les zones anthropisées, l'espèce est souvent absente des aires protégées (parcs, réserves),
- que l'aire naturelle est vaste, la variabilité intraspécifique relativement importante,
- et que les pratiques humaines afférentes à l'espèce sont diversifiées.

Ajoutée à cela, la méconnaissance de la biologie de *Faidherbia albida*, notamment l'ignorance des facteurs qui déterminent l'élaboration de la structure génétique des populations naturelles à l'échelle spatiale et temporelle, constitue un handicap pour la conservation dynamique des ressources génétiques de cette espèce.

OBJECTIF DE L'ETUDE

L'étude que nous avons menée au cours de trois années successives (1990 à 1992) sur 2 populations naturelles du Nord Cameroun a porté sur les relations entre la phénologie de la floraison, les échanges de gènes intra-population, le système de reproduction, la diversité génétique et la position spatiale des individus. La connaissance de l'organisation de la diversité génétique, mais aussi des mécanismes impliqués dans la structuration de cette diversité, la biologie de l'espèce à l'échelle de populations réparties dans différentes conditions écologiques, soumises à des pressions anthropiques variées et étalées sur plusieurs années sont nécessaires pour concevoir des stratégies efficaces de gestion et de conservation *in situ* des ressources génétiques de *Faidherbia albida*.

METHODOLOGIE

Choix et cartographie des populations

Nous avons retenu 2 populations dans la zone centrale de l'aire de prospection (entre 9° et 12° de latitude nord). Le choix s'appuie sur la variation des unités écologiques auxquelles elles appartiennent, la taille des populations (effectif supérieur à 50), le port et l'état sanitaire convenables des arbres, un nombre d'arbres reproducteurs suffisant, la représentation de plusieurs classes de circonférence et l'existence d'une activité humaine. La position des arbres a été cartographiée à l'échelle 1/3 000 à l'aide d'une planchette portable, d'un piquet en bois, d'une boussole topochaix et d'un topofil.

Suivi phénologique et protocole de récolte de gousses

La cinétique intra et inter-individuelle de la phénologie de la floraison de ces populations a été décrite dans le but d'appréhender les principaux repères phénologiques impliqués dans la reproduction. La récolte des gousses a été organisée en 1990, 1991 et 1992 pendant les pics de production de chacune des populations pour disposer de graines pour l'étude génétique.

Electrophorèse isoenzymatique

Elle a été conduite sur les extractions de cotylédons. Les marqueurs enzymatiques représentant 10⁺ locus : Aap, Aco, Acp, Adh2, B-est, F-est, Lap1, Lap2, Me et Sdh qui ont permis d'analyser le système de reproduction.

Traitement des données

Pour chaque population des Analyses en Composantes Principales (ACP) ont été effectuées en considérant les variables phénologiques, dendrométriques et la position spatiale des arbres toutes années confondues dans le but d'avoir une image globale du déroulement de la floraison des arbres sur l'ensemble de la période d'observation, sur la base des paramètres les plus pertinents à cet effet. Des ACP par année séparée portant sur les mêmes paramètres ont été réalisées afin d'étudier les variations phénologiques intra-annuelles au niveau de chaque population.

Les analyses génétiques ont portées essentiellement sur les génotypes des individus adultes des populations ; ces génotypes ont été estimés à l'aide du logiciel MLT écrit en fortran, basé sur la méthode du maximum de vraisemblance (Ritland, 1990). Ce logiciel est limité à des locus ayant trois allèles au plus. Des associations éventuelles entre variables génétiques ont été estimées par des coefficients de rangs de Spearman (1903). Le modèle d'estimation du système de reproduction est celui d'une population en régime de reproduction mixte qui autorise un mélange d'autofécondation et

d'allofécondation (Ritlan et Jaïn, 1981). L'homogénéité des fréquences alléliques entre gamètes mâles et entre gamètes femelles a été comparée par un test de chi-deux pour chaque récolte.

PRINCIPAUX RESULTATS

Description des populations retenues

L'une est située à 10 km à l'est de la ville de Marqua sur sol sablo-argileux dans le village de Kongola, l'autre est installée sur vertisols à Zamay, à 15 km environ de la ville de Mokolo. La pluviométrie moyenne dans cette région oscille entre 600 et 800 mm.

La population de Kongola

Elle est constituée de grands arbres (hauteur totale et circonférence moyennes : 14,5 m et 2,0 m). La zone est cultivée en sorgho et coton. La pratique de l'élevage est associée à l'émondage des arbres en saison sèche. La distribution spatiale des arbres est régulière ; la présence de semis atteste la régénération naturelle. En admettant que la circonférence est corrélée à l'âge, la localisation en périphérie d'individus de faible circonférence et la prépondérance d'arbres de circonférence plus importante au centre de la population semble indiquer que la dynamique de colonisation de l'espace s'opère du centre vers la périphérie.

La population de Zamay

Elle est composée de grands arbres (hauteur totale et circonférence moyennes : 13,1 m et 2,1 m). La distribution spatiale des tiges est diffuse et s'étale dans le sens des cours d'eau périodiques qui traversent le peuplement. Les arbres forment par endroit des agrégats. L'activité agricole et l'élevage sont marginales. L'absence de plantules et le fait que toutes les classes de circonférence ne soient pas représentées indiquent que la régénération se déroule mal.

La corrélation entre la circonférence et la hauteur totale (0,78) ou entre la circonférence et la hauteur du houppier (0,76) dans la population de Zamay est plus élevée que la corrélation obtenue entre les mêmes variables à Kongola (respectivement 0,58 et 0,59). A Kongola, ces corrélations relativement faibles signifient que les arbres avec une grande circonférence ne sont pas forcément de grands arbres. Un élagage sévère peut en être vraisemblablement la cause, car, d'après Sterk *et al.* (1991), l'élagage mal pratiqué et le stress hydrique sont des facteurs qui désorganisent les séquences de croissance de l'arbre. A Zamay, ces corrélations relativement plus fortes traduisent le fait que les arbres ne sont pas fréquemment émondés au cours de leur vie.

Caractéristiques temporelles de la phénologie de la floraison des populations

Le cycle de floraison-maturation des fruits des deux populations est similaire, soit environ 3 mois. Une durée de 2 à 8 semaines séparent la floraison de la fructification. Le délai entre la fructification et la maturation des fruits peut aller de deux à 7 semaines. A Kongola et à Zamay, la mise à fleur a lieu en septembre et les pics de floraison sont atteints entre janvier et février ; ils correspondent à une densité maximale de floraison, probablement en faveur d'un régime de reproduction panmictique.

A Kongola les arbres arrêtent de fleurir au mois de mai. A Zamay, l'arrêt de la floraison se situe en avril. L'étalement plus important de la floraison de la première population (9 mois) semble lié à l'émondage des arbres par les éleveurs. Guido (1989) signale à ce titre qu'un émondage convenablement pratiqué au long de la saison favorise la mise à fleur répétée et étalée des arbres.

Le suivi de la floraison des rameaux révèle que celle-ci est acropète (progression de l'extrémité vers la base du rameau) et dure environ 40 jours. La fin de la floraison sur un rameau peut coïncider avec l'initiation de la floraison sur une autre branche. Ce décalage temporel explique l'occurrence simultanée de fleurs, de fruits verts et de fruits mûrs sur le même arbre. D'un point de vue dynamique, la mise à fleur progressive sur un rameau et le chevauchement des périodes de floraison inter-arbres apparaissent comme des facteurs qui renforcent l'allogamie. Dans les 2 populations étudiées, les résultats des ACP effectuées par année séparée avec les variables phénologiques ne permettent pas de caractériser des groupes de floraison qui se maintiennent d'une année à l'autre (Zeh-Nlo *et al.*, 1997). Pour chaque population, en incluant les variables dendrométriques pour réaliser une ACP toutes

années confondues, il n'apparaît aucune structuration de la floraison en fonction de la hauteur et de la circonférence. Ainsi, les pollinisations devraient s'effectuer sans limitation entre arbres différents à chaque cycle de reproduction. Les flux géniques seraient donc peu limités. Une exception peut cependant être faite à Kongola pour les arbres de faibles circonférence localisés en périphérie. Ces individus ont une floraison synchrone et précoce. Des échanges de gènes préférentiels peuvent donc s'établir au sein de ce groupe d'arbres (Zeh-Nlo *et al.*, 1997).

Biologie de la reproduction et structuration spatiale

Organisation et structuration de la diversité génétique des populations d'arbres étudiés

Les coefficients de corrélation de rang calculés entre l'occurrence des allèles aux différents locus et la position des arbres suggèrent une certaine structuration spatiale de la diversité génétique dans chaque population. A Kongola, cela concerne les allèles Aap1, Aap-2, Aco1, Adh2-2, F-est-1, F-est-2, Lap2-1, Lap2-2, Lap2-3 et Me-2. A Zamay, il s'agit de Aco-1, Aco-2, Aco-3, Acp-3, Adh2-2, Adh2-3, B-est-1, B-est-2, B-est-3, F-est-3, Lap1-1, Lap1-2, Lap2-1, Lap2-2, Lap2-3, Sdh-1 et Sdh-3. En dehors de Aco-1, Adh2-2, Lap2-2 et Lap2-3, les allèles pour lesquels on observe une structuration spatiale de la diversité génétique des deux populations sont différents (Zeh-Nlo *et al.*, 1997).

La variabilité génétique de Kongola (149 arbres, $H_t = 0,53$ taux d'hétérozygotie attendue sous l'hypothèse de panmixie) est plus élevée qu'à Zamay (107 arbres, $H_t = 0,39$). Des valeurs de diversité génétique plus faibles sont relevées chez les acacias australiens : $H = 0,141$ et $H = 0,146$ respectivement pour *Acacia crassicarpa* et *Acacia auriculiformis* (Moran *et al.*, 1986a). Ces résultats confortent les conclusions de Hamrick *et al.* (1992) selon lesquels la diversité intra-population est importante chez les arbres. Les valeurs de F à Kongola ($-0,34$) et à Zamay ($-0,22$) obtenues pour les arbres mères traduisent un excès d'hétérozygotie dans ces peuplements, vraisemblablement liés à un régime de reproduction préférentiellement allogame. Soulé (1986) et Hamrick (1979) admettent que, d'une manière générale, la supériorité des hétérozygotes sur les homozygotes est admise chez les plantes (Zeh-Nlo *et al.*, 1997).

La population de Kongola est en majorité composée d'arbres hétérozygotes, largement disséminés dans tous les secteurs. La distribution spatiale des différents génotypes pour chaque locus dans chacun des secteurs géographique est quasi régulière. On peut penser que la fondation de Kongola s'est faite à partir de différents génotypes répartis de manière quasi aléatoire. La distribution spatiale des génotypes et des allèles ne devrait donc pas freiner la participation des différents génotypes ou allèles aux échanges de gènes (Zeh-Nlo *et al.*, 1997). A Zamay, les agrégats formés par endroits regroupent des arbres qui ont un niveau d'hétérozygotie semblable. La présence d'allèles communs chez des arbres voisins occupant, par endroit, certaines parties géographiques de la population illustre une structuration spatiale de la diversité allélique en petite famille. Le transport de graine par l'eau pourrait en partie expliquer cette structuration. La proximité spatiale des génotypes similaires favoriserait des croisements préférentiels entre arbres apparentés.

Système de reproduction et flux de gènes

D'une année à l'autre et du début à la fin de la floraison au cours de chaque année, les taux d'allofécondation multilocus estimés sont variables à Kongola (0,56 à 0,91). Les estimations monolocus sont similaires. Les fortes valeurs du taux d'allofécondation et ses variations montrent que *Faidherbia albida* possède un système de reproduction flexible (Zeh-Nlo *et al.*, 1997). Les valeurs les plus élevées sont comparables à celles obtenues pour d'autres populations de l'espèce (0,89 à 1,0 ; Joly *et al.*, 1992). La variation moins forte au cours du temps du taux d'allofécondation à Zamay est vraisemblablement liée à la floraison plus courte et plus groupée des arbres. Les fécondations entre arbres différents sont plus élevées aux périodes d'intense floraison.

Une observation attentive de l'évolution des taux d'allofécondation par rapport à celle de la densité des arbres en floraison à Kongola et à Zamay révèle que la variation des valeurs des taux d'allofécondation ne s'ajuste pas absolument à celle de la densité de la floraison. Il apparaît que les fécondations croisées sont indépendantes de la densité d'arbres en floraison. Ces observations sont en désaccord avec celles de Furnier et Adams (1986) qui soulignent que les arbres isolés d'espèces entomophiles ont tendance à s'autoféconder. Ceci laisse penser que chez *Faidherbia albida* d'autres

facteurs que la densité de floraison influent les flux de gènes et en particulier le niveau d'allofécondation. Nous avons d'ailleurs relevé que l'élévation de l'hygrométrie entre 10 et 15 jours est associée à la mise à fleur des arbres de Kongola. Il se pourrait aussi que l'éthologie des pollinisateurs (*Chrysalidae*, *Scoliidae*, *Mulidae*, *Eumenidae*, *Larridae*, *Bambicidae* ; Tybirk, 1993), la fertilité et la réceptivité des stigmates modulent le niveau d'allofécondation.

La fréquence des croisements entre apparentés plus élevée à Zamay qu'à Kongola et la similitude génotypique entre arbres plus importante dans la seconde population expliquent que, pour chaque récolte, la différence entre les estimations multilocus et monolocus du taux d'allofécondation soit généralement plus prononcée à Zamay (Zeh-Nlo, 1997).

Pour chacune des populations, la comparaison de la fréquence des allèles du pollen et celles des ovules d'une récolte à l'autre, révèlent que, de manière générale, le nuage pollinique impliqué dans la reproduction est hétérogène au cours de la saison de floraison. Parallèlement, la population des ovules est relativement stable. L'asynchronisme inter-arbres, une production de pollen dont la productivité varie au cours de la saison (en fonction de l'humidité ou de la température) et une période de réceptivité des stigmates moins variable dans le temps peuvent en être la cause (Zeh-Nlo, 1997).

Phénologie et diversité génétique

Pour les deux populations, des ACP effectuées avec des variables phénologiques et les paramètres génétiques révèlent qu'il y a au cours du temps une recomposition permanente des groupes reproducteurs associée à un renouvellement des associations alléliques qui participent aux échanges de gènes intra-populations. La synchronisation spatiale de la floraison à Zamay favorise des croisements préférentiels entre arbres avec des associations d'allèles montrant des ressemblances avec un niveau d'hétérozygotie semblable, tandis qu'à Kongola, les échanges de gènes concernent des arbres avec des associations d'allèles plutôt variables. Le polymorphisme aura donc tendance à être organisé au cours du temps à Kongola. A Zamay, la réorganisation du polymorphisme sera probablement moins importante (Zeh-Nlo, 1997).

IMPLICATION DANS LA GESTION DES RESSOURCES GENETIQUES DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

Activités anthropiques et structure spatiale des parcs de *Faidherbia*

Un parc agroforestier tel que Kongola, caractérisé par une distribution spatiale régulière des arbres et par un noyau central composé d'arbres plus âgés, autour duquel s'installent progressivement vers la périphérie les autres individus, montre que l'action anthropique induit une structure spatiale particulière. Avant de généraliser ces résultats, il convient de vérifier cette organisation spatiale sur une plus large échelle. Les résultats des travaux de Depommier (1993) et Janodet (1990) sur les parcs agroforestiers de l'est et de l'ouest de l'Afrique signale le renouvellement des vieux individus dans la partie centrale des peuplements anciens. Toutefois, les peuplements dont la structure spatiale est analogue à celle de Kongola offrent la possibilité d'organiser la récolte des graines de la périphérie, occupée par les jeunes arbres relativement précoces, vers la partie centrale où se trouvent les individus plus âgés, à la production plus étalée.

Facteurs impliqués dans la dispersion et la régénération de l'espèce

La production de gousses ne constitue pas un problème pour la régénération de l'espèce. Les gousses qui arrivent au sol sont consommées par le bétail. Il n'y a que les gousses coincées dans les rameaux épineux qui échappent au bétail. Celui-ci broute ou arrache les semis dans les parcs. Les branches fructifères sont préférentiellement émondées pour nourrir les petits ruminants. L'essentiel des graines à l'origine des populations transitent donc par le tube digestif des animaux qui, ensuite, en assurent la dispersion.

Le bétail a donc une incidence sur la fondation des populations. Depommier (1996) a montré que les graines extraites des fèces ont une levée assez lente. Cette levée diffuse répondrait mieux aux

conditions écologiques des zones sèches. A l'échelle d'un site comme Kongola, le suivi du bétail permettrait de préciser son rôle dans le devenir d'un parc. Par contre, à l'échelle du continent, nous pensons que la dispersion de l'espèce serait plutôt l'oeuvre du grand bétail lors des transhumances. Les animaux sauvages (antilopes, éléphants) constitueraient également des facteurs de dissémination de l'espèce.

Ces moyens de dissémination ne peuvent à eux seuls expliquer les formes de peuplement étalées et diffuses décrites par Giffard en 1969 dans le Nord Cameroun (Makary et Adoumri). La dispersion des graines par l'eau pourrait conduire à cette forme d'organisation spatiale.

L'action des paysans traduite par deux ou trois sarclages, réalisés en saison des pluies, élimine les plants mal venants. D'autres événements tels que les accidents climatiques ou hydriques (pluies insuffisantes, inondations) influenceraient aussi la régénération. Seuls subsistent souvent les tiges (formant des cépées) avec un enracinement généralement puissant ayant résisté aux abattages et aux broutages répétés. Depommier (1996) pense que l'origine de ces touffes de rejets pourrait être en grande partie végétative.

Cette hypothèse ne se vérifie pas entièrement à Kongola et à Zamay où la reproduction par voie végétative est négligeable. Elle est également signalée par Bonkougou (1986) à l'intérieur de l'aire naturelle. L'étude de la sylviculture pratiquée par les paysans et celle des facteurs qui orientent l'arbre vers la production sexuée ou la production végétative clarifieraient non seulement la dynamique et le fonctionnement des parcs à *Faidherbia* mais aussi renseigneraient sur la stratégie adaptative de l'espèce.

Biologie de la reproduction et gestion des ressources génétiques

La répartition spatiale des différents génotypes et des différents allèles, moins aléatoire à Zamay qu'à Kongola où la répartition des arbres est plutôt régulière, laisse penser que la structure spatiale doit être prise en considération pour échantillonner la diversité génétique des populations naturelles.

Etant donné que le niveau d'allopécondation des populations étudiées ne s'ajuste pas strictement à la densité de floraison, il importe également de déterminer l'époque de récolte des graines pour améliorer l'échantillonnage de la diversité génétique. En considérant que les graines provenant d'une densité de floraison minimale ou de fin de floraison ont moins de chance d'être issues d'un large brassage génétique, les périodes les plus indiquées sont celles où la densité de floraison est associée à un taux élevé d'allopécondation. La difficulté de prévoir le niveau d'allopécondation et la densité de floraison amène à prévoir plusieurs passages pour obtenir un échantillon représentatif de la variabilité génétique.

L'émondage des arbres, considéré comme moyen de mise à fleur, favoriserait les échanges de gènes intrapopulation. C'est un mode de gestion qui renforce l'allogamie par l'étalement de la floraison.

L'allogamie associée à la recombinaison permanente des groupes de floraison est « favorable » à l'espèce dans la mesure où elle autorise la création de nouveaux génotypes à chaque génération. L'émondage limiterait donc les effets de fondation des populations naturelles et permettrait en quelque sorte de « gérer » la diversité génétique par le « contrôle » des flux de gènes par le biais du pollen. Il se pourrait qu'en l'absence de toute forme de pratique humaine (agriculture, émondage modéré, élevage) des cercles de consanguinité puissent se constituer autour des pieds-mères, conduisant à terme à des pertes de vigueur chez les descendants et au dépérissement des populations. C'est ce qui pourrait expliquer, en marge de la baisse de pluviométrie, le dépérissement observé des peuplements près du lac Tchad dans le Nord Cameroun. La conservation *ex situ* serait l'une des solutions à envisager dans ce cas. Pour ce faire, la récolte de semences sur des individus reliques est urgente.

Ces résultats suggèrent que la préservation dynamique *in situ* des ressources génétiques des *Faidherbia albida* doit passer par la sensibilisation des populations humaines (pasteurs et éleveurs) aux problèmes de la conservation. Les services de recherche et de développement doivent s'investir dans la détermination et la vulgarisation de normes de gestion adaptées aux réalités biologiques, sociales et économiques qui garantissent l'utilisation optimale et raisonnable des ressources génétiques de *Faidherbia albida*.

BIBLIOGRAPHIE

- Aloni R., 1973. Studies of *Acacia albida* (Del.) in Israël. Israël Journal of Botany, Vol 22,3 :180-202
- Atchison E, 1948 Studies in Leguminosae: II Cytogeography of *Acacia* (Tourne.) American Journal of Botany 35 : 651-655
- Bonkougou E.G., 1986 *Acacia albida* (Del.), une arbre a usages multiples pour les zones arides et semi arides, Ress géné.forestières FAO (Rome), 13 :39-45
- Charreau C. et Vidal P., 1965. Influence de l'*Acacia albida* (Del.) sur le sol, la nutrition minérale et les rendements de mil *Pennisetum* au Sénégal. Agronomie Tropicale, Vol XX, 6-7 : 500-625
- Depommier D.,1993. Production fruitière et devenir des semences de *Faidherbia albida*, la part des insects spermatophages et du bétail dans la régénÈration de l'espèce dans le parc de Watinoma, Burkina Faso. Communication faite au Symposium International ICRAF/IRBET/CILSS/LTC sur les parcs agroforestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest. Ouagadougou, 25-27 octobre, 19p.
- Hamrick J.L., Mary J.O.W., Susan L. et Sherman-Broles, 1992. Factors influencing levels of gentics diversity in woody plant species. Kluwer Academic Publishers, Netherlands New Forests: 6 ; 93-124
- Joly H.I., Zeh-Nlo M., Danthu P.,et Aygulent C.,1992. Population genetics of an African *Acacia*, *Acacia albida*. I. Genetics diversity of populations from West Africa. Aust.J. Bot. 40, 40, pp 59-73
- Zeh-Nlo M, Joly H.I. et Sarr A., 1997. Evaluation des flux de gènes intrapopulation et gestion des ressources génétiques de *Faidherbia albida* (article en prépartaion).

FLUX DE GENES ENTRE FORMES DOMESTIQUEE ET SAUVAGE DU MIL, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., EN CONDITIONS EXPERIMENTALES AU SAHEL

Renno J.F., Winkel T., Bonnefous F., Bezançon G.

ORSTOM, Niamey, Niger

RESUME

En conditions naturelles, les formes sauvages et cultivées du mil échangent des gènes depuis des millénaires et restent cependant fortement différenciées par leur morphologie. En conditions expérimentales au Sahel, les échanges de gènes entre mil sauvage et mil cultivé ont été mesurés à l'aide de marqueurs enzymatiques et mis en relation avec la phénologie des plantes. Les flux sont fortement dissymétriques. Sur la totalité des cycles, 8% d'hybrides sont engendrés par l'échantillon de mil sauvage et cinq fois plus par l'échantillon de mil cultivé. La proportion d'hybrides produits par le mil sauvage dépend des variations d'intensité du nuage pollinique émis par le mil cultivé, alors que le nuage pollinique émis par le mil sauvage n'apparaît jamais limitant pour l'hybridation. Le taux de germination des graines produites par les plantes de phénotype cultivé à différents moments de leur cycle est corrélé négativement à la fréquence des hybrides formés à ces différents moments. La vitesse de germination des graines issues des plantes de phénotype cultivé ou de phénotype intermédiaire entre cultivé et sauvage (chibra) est corrélée négativement à la fréquence des hybrides. Les effets de l'équilibre entre brassages génétiques, isolements et barrières à la reproduction, pressions de sélection anthropiques et naturelles, sont discutés pour expliquer l'évolution et le maintien du polymorphisme de *Pennisetum glaucum*.

INTRODUCTION

Le mil, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., espèce annuelle, diploïde ($2n = 2x = 14$), sexuée, hermaphrodite est préférentiellement allogame du fait d'une protogynie marquée et d'une pollinisation anémophile. Ces caractéristiques favorisent les échanges géniques entre individus d'une même population, mais aussi entre plantes sauvages et cultivées en sympatrie. En conséquence, les champs cultivés aussi bien que les populations sauvages peuvent être envahis par des formes intermédiaires fertiles, appelées « chibra » au Niger.

Les plus anciens vestiges archéologiques observés attestant de la culture du mil en contact avec la forme sauvage remonteraient à environ 3 000 ans (Amblard et Pernès, 1989). Depuis le néolithique, mil domestiqué et mil sauvage évolueraient donc en sympatrie dans une large partie de la région sahélienne tout en maintenant leur intégrité. Pour expliquer ce phénomène deux causes principales limitant les échanges géniques peuvent être invoquées : les isolements à la reproduction et les barrières à la reproduction. L'isolement à la reproduction est spatial lorsque les aires de distribution des deux formes de mil sont disjointes. Il est temporel quand, en sympatrie avec le mil cultivé, le mil sauvage se trouve en situation d'endogamie totale pendant une partie de son cycle en raison de sa floraison beaucoup plus étalée que celle du mil cultivé (Renno et Winkel, 1996). Lorsqu'il n'y a plus d'isolement à la reproduction, les échanges géniques deviennent possibles, mais des barrières à la reproduction vont intervenir et contribuer à les freiner. D'abord entrent en jeu des barrières prézygotiques telles que la compétition pollinique, à l'avantage de l'autopollen (Sarr *et al.*, 1988 ; Robert *et al.*, 1991). Puis interviennent des barrières postzygotiques qui s'expriment par la baisse de viabilité des graines hybrides (Amoukou & Marchais, 1993). Si, malgré les freins aux échanges de gènes, le brassage génétique s'opère, le syndrome de domestication pourrait parfois réapparaître au cours des générations au gré de recombinaisons génétiques, car il est déterminé par des allèles récessifs, peu nombreux et étroitement liés sur le même chromosome (Pernès *et al.*, 1984). Par ailleurs, l'espèce *P. glaucum* serait soumise à des pressions de sélection différentielles, l'homme et la nature imposant le maintien du mil cultivé et du mil sauvage.

En dépit des isolements et des barrières à la reproduction, quelle est la proportion de gènes pouvant être échangés entre mil sauvage et mil cultivé au cours d'une génération ? Ces flux de gènes sont-ils symétriques ? Comment et par quoi sont-ils structurés ? Quelle est la proportion d'hybrides

susceptible de contribuer aux générations suivantes ? Des réponses à ces questions dépend la compréhension de l'équilibre mis en place au cours de l'évolution entre les différentes forces qui maintiennent le polymorphisme de l'espèce *P. glaucum*. L'étude présentée ici a pour objectifs spécifiques de quantifier les flux de gènes entre mil sauvage et mil cultivé en relation avec la floraison des plantes et d'évaluer leurs conséquences sur le devenir immédiat de la descendance des deux formes de mil.

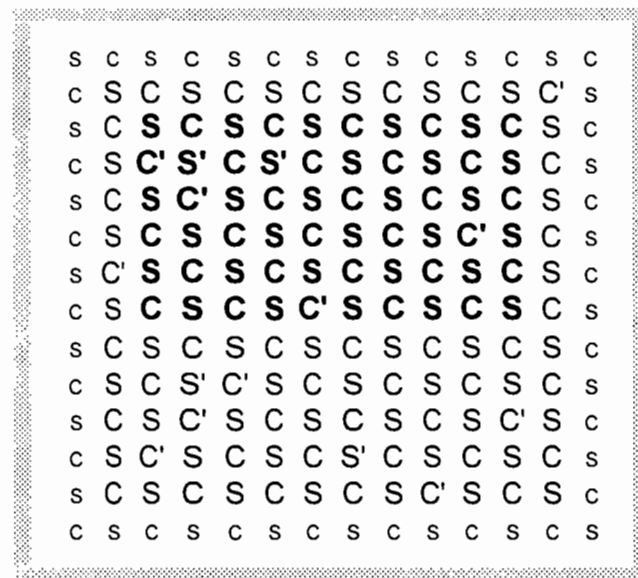
MATERIEL ET METHODES

Principe d'études

Les échantillons d'origine utilisés dans cet essai étaient constitués de semences collectées dans des champs de mil cultivé et dans des populations de mil sauvage vivant en sympatrie. L'utilisation de semences prélevées dans l'agrosystème et non pas issues de lignées fixées a permis d'accéder à la variabilité réelle de l'espèce, telle qu'elle peut se rencontrer dans le milieu naturel. A la saison de la culture du mil, les plantules issues des semences récoltées *in situ* ont été différenciées en deux catégories d'homozygotes par deux allozymes correspondant chacune à un allèle du même gène servant ainsi de marqueur. Ces plantules marquées ont ensuite été repiquées dans une parcelle isolée des cultures selon un plan en damier afin qu'elles aient chacune un voisinage similaire (figure 1). Dans la descendance des plantes de la parcelle, les individus hétérozygotes au gène servant de marqueur étaient nécessairement le fruit d'une hybridation entre mil sauvage et mil cultivé. La fréquence des hybrides produits par chacun des échantillons de mil a rendu compte du flux de gènes fécondant émis par l'autre échantillon.

Figure 1 : Plan de la parcelle expérimentale. C = phénotype cultivé, C' = phénotype chibra du mil cultivé, S = phénotype sauvage, S' = phénotype chibra du mil sauvage.

(Les petites lettres représentent les plantes de bordure, les grandes lettres les plantes utilisées pour mesurer les flux de gènes et la production d'épis et de graines. Les lettres en caractères gras représentent les plantes observées au stade mâle.)



Dispositif expérimental

Les conditions expérimentales de cette étude sont présentées en détail par Renno *et al.*, (sous presse). Les semences utilisées provenaient des environs de la ville de Tanout (Niger), région où la variété locale Ankoutess est très majoritaire. Le gène utilisé comme marqueur permet la synthèse de l'enzyme phosphoglucomutase (PGM, E.C. 5.4.2.2.). Il s'exprime sous deux formes alléliques rencontrées dans les deux échantillons. Pour constituer l'échantillon de mil cultivé, seules les plantes homozygotes au locus *Pgm* (100, 100) ont été repiquées dans la parcelle, tandis que pour constituer celui de mil sauvage seules les plantes *Pgm* (104,104) ont été utilisées. Les descendants des deux échantillons, lorsqu'ils étaient le fruit d'une hybridation entre mil sauvage et mil cultivé, étaient hétérozygotes *Pgm* (100, 104) et leur proportion rendait compte des flux de gènes échangés.

La parcelle expérimentale était éloignée des champs de mil et mise en place avec un mois de retard sur les cultures de la région, ceci afin de limiter les risques de pollution par du pollen extérieur. Elle comprenait 196 plantes (1 plante/m²). La bordure extérieure (52 plantes) a servi de protection. Sa floraison a toutefois été suivie puisqu'elle participait au nuage pollinique. A l'intérieur de cette bordure, toutes les plantes ont été utilisées pour l'analyse des flux de gènes, soit 72 plantes issues de l'échantillon de mil cultivé et 72 autres issues de l'échantillon de mil sauvage. Dans chacun des deux groupes, des formes intermédiaires (chibra) sont apparues, situation habituelle dans le cas de lignées non fixées. Trois phénotypes étaient donc en présence dans la parcelle : le phénotype sauvage, le phénotype cultivé Ankoutess et le phénotype intermédiaire chibra, ce dernier étant toutefois minoritaire. Les plantes se distribuaient ainsi :

- 61 plantes de phénotype cultivé, constituant le groupe CLT (1 plante de ce groupe est restée stérile) ;
- 11 de phénotype chibra dans l'échantillon issu des semences de mil cultivé, constituant le groupe CHB ;
- 68 de phénotype sauvage, constituant le groupe SVG ;
- 4 de phénotype chibra dans l'échantillon issu des semences de populations sauvages, constituant un groupe trop limité pour être analysé.

Observations

Phénologie de la floraison

La date de floraison femelle de chaque épi a été notée sur l'ensemble des 196 plantes, tandis que la floraison mâle a été suivie sur un sous-échantillon de 30 plantes de chaque origine afin d'estimer le décalage journalier moyen entre la floraison femelle et la floraison mâle d'un épi (figure 1).

Viabilité et vitesse de germination des graines

On a considéré que toutes les graines d'un épi étaient produites le jour où la floraison femelle était observée sur cet épi. Il s'agit là d'une approximation car en réalité un épi est au stade femelle pendant 3 à 4 jours. Des lots de 150 graines produites chaque jour du cycle de floraison pour chacun des phénotypes (CLT, SVG ou CHB) ont été mis à germer en boîtes de Pétri à 40°C. La germination s'est échelonnée sur 48 heures et la proportion de graines germées a été notée en distinguant quatre périodes : 0-8h, 8-16h, 16-24h et 24-48h après la mise en germination.

Proportion d'hybrides formées au cours du cycle de floraison

Au fur et à mesure de leur germination, les plantules ont été analysées par électrophorèse enzymatique. La distribution des hybrides *Pgm* (100, 104) formés au cours du cycle de floraison a ainsi pu être obtenue pour chacun des phénotypes CLT, SVG et CHB. Les flux de gènes globaux (sur la totalité des cycles) ont été évalués par le calcul de la moyenne des flux journaliers pondérés par la production journalière de graines. De plus, pour chacun des lots analysés, la fréquence des hybrides germés a été suivie sur les 48 heures de germination en distinguant les périodes : 0-8h, 8-16h, 16-24h et 24-48h.

RESULTATS

Afin de décrire la phénologie de la floraison, tous les épis de la parcelle (22 000 épis au total) ont été observés puis battus pour en prélever les graines. Pour la quantification des flux de gènes, 7 942 plantules ont été analysées : 2 597 produites par le CLT, 1 503 par le CHB et 3 842 par le SVG.

Phénologie de la floraison

La floraison femelle précède de 4 jours en moyenne la floraison mâle. Le SVG commence à fleurir 47 jours après le semis (JAS) et termine à 144 JAS, tandis que le CLT fleurit entre 62 et 84 JAS. L'étalement de la floraison du CHB est comparable à celui du SVG. Les productions d'épis et de graines par plante sont très différentes selon les phénotypes (tableau 1).

Tableau 1 : Nombres moyens d'épis et de graines produits par une plante sur la totalité de son cycle ; taux de germination et pourcentage d'hybrides.

	Epis	Graines	Taux de germination*	Pourcentage d'hybrides*
Cultivé				
<i>moyenne</i>	2,8	7861	80,1	50,2
<i>N</i>	60	60	22	22
<i>CV</i>	50	55	16	21
<i>ES</i>	0,2	559	2,9	2,3
Sauvage				
<i>moyenne</i>	319	56359	91,8	11,3
<i>N</i>	68	68	24	24
<i>CV</i>	53	49	6	68
<i>ES</i>	20	3365	1,2	1,6
Chibra				
<i>moyenne</i>	21,1	11134	71,2	41,9
<i>N</i>	11	11	15	15
<i>CV</i>	58	42	27	34
<i>ES</i>	3,7	1420	5,0	3,7

Note : *N*, effectif ; *CV*, coefficient de variation (%) ; *ES*, erreur standard.

* pendant la période de floraison de la forme fécondante.

Considérant que les nombres de graines et de fleurs fertiles produites par une plante sont étroitement corrélés, il apparaît que la production moyenne de fleurs d'une plante sauvage englobe totalement celle d'une plante cultivée (figure 2). Dans un premier temps, le nuage pollinique de l'échantillon de mil sauvage « noie » la floraison du mil cultivé. Le mil sauvage se trouve ensuite isolé du mil cultivé pour sa reproduction jusqu'à la fin de son cycle, de 85 à 144 JAS. Le CHB a un comportement phénologique proche du SVG, mais la quantité de fleurs produites dans la parcelle est très faible en raison de la faible proportion de plantes de type chibra.

Flux de gènes et conséquences sur la germination des descendants

Les flux de gènes sont fortement dissymétriques, avec plus de 40% d'hybrides produits dans la descendance de CLT ou celle de CHB, contre seulement 11% dans celle de SVG lors de la floraison de CLT (tableau 1). Sur la totalité des cycles, 8% d'hybrides sont engendrés par l'échantillon de mil sauvage, soit cinq fois moins que par celui de mil cultivé.

La distribution journalière du pourcentage d'hybrides produits par le SVG est significativement corrélée à la floraison de CLT ($r = 0,61$; $P < 0,01$), alors que la distribution journalière d'hybrides produits par CLT ou CHB est indépendante des variations de floraison de SVG (figure 3). Le CHB participe peu à la fécondation du SVG, en raison probablement du faible nombre de plantes impliquées, puisque après la floraison de CLT seulement 0,1% d'hybrides sont produits par le SVG.

Figure 2 : Variations du nombre moyen de fleurs par plante estimé pour le mil cultivé (CLT), sauvage (SVG) et chibra (CHB) durant le cycle de floraison.

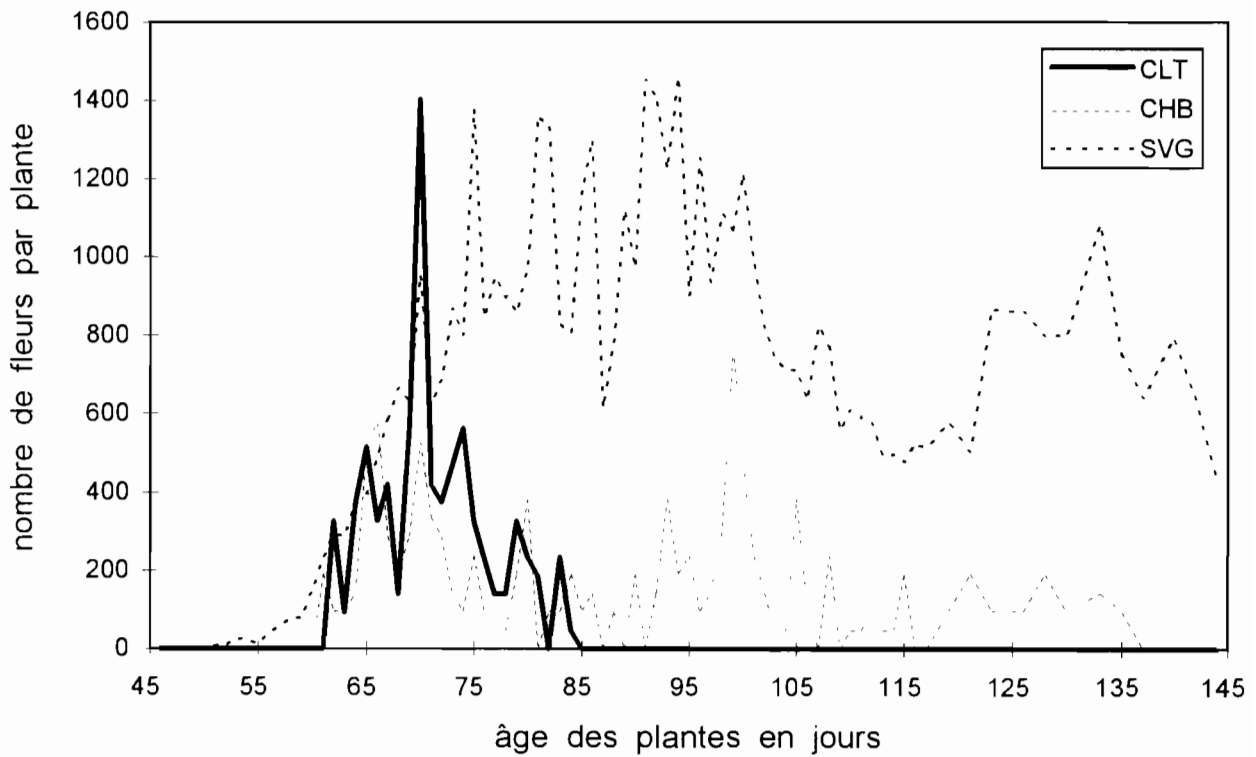
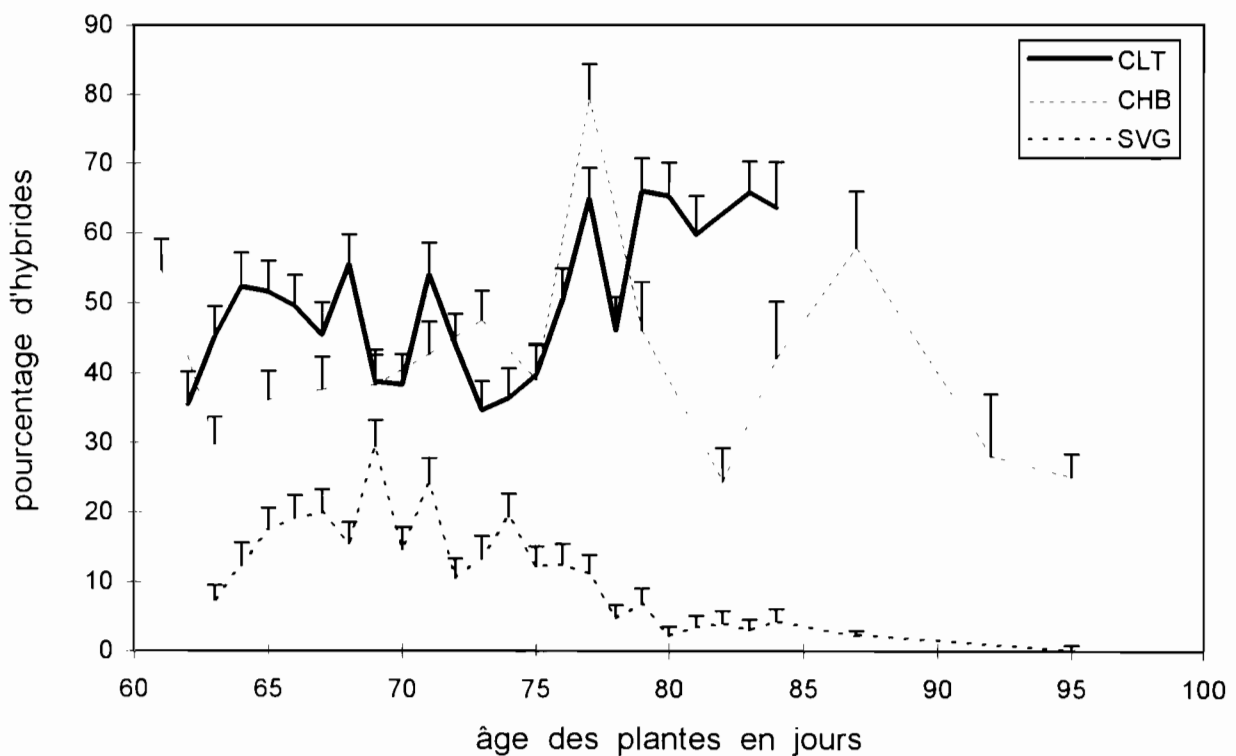
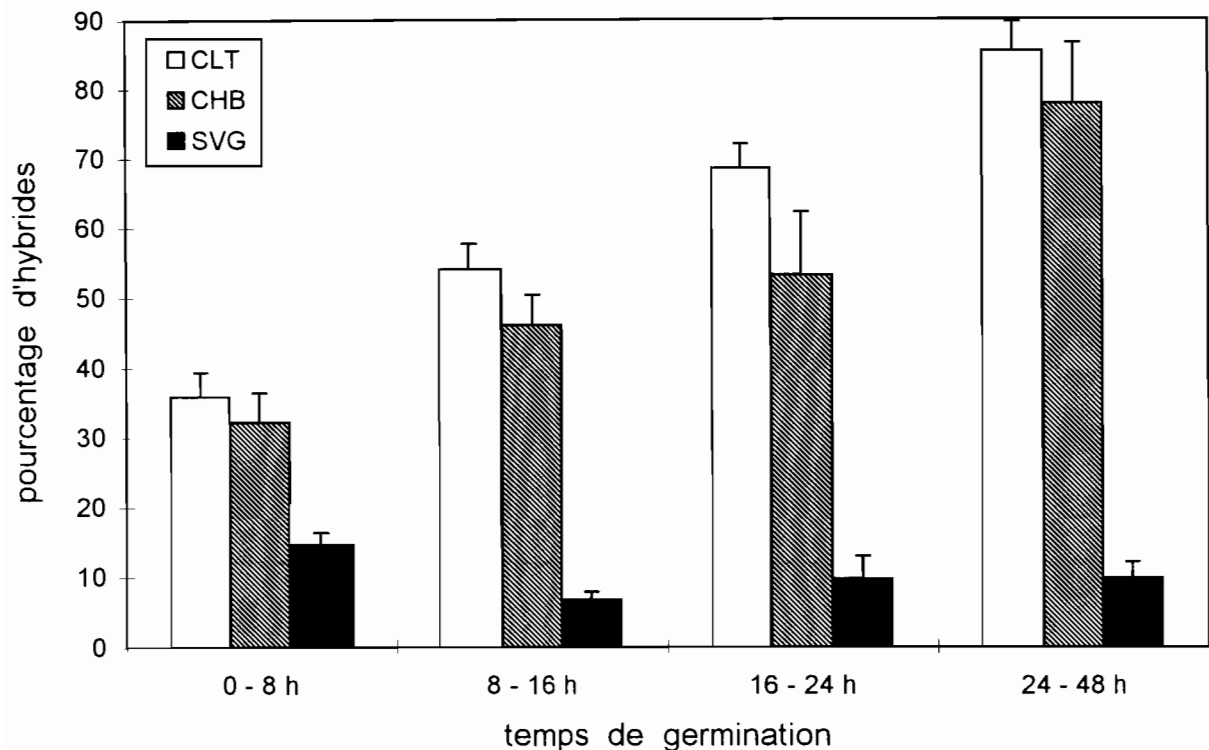


Figure 3 : Variations du pourcentage d'hybrides engendrés par le mil cultivé (CLT), sauvage (SVG) et chibra (CHB) durant le cycle de floraison. Les barres verticales représentent les erreurs standards.



La proportion des graines viables (graines germées) produites par le CLT un jour donné est inversement proportionnelle au pourcentage d'hybrides formés ce jour ($r = -0,53$; $P < 0,01$), ce qui n'est pas le cas pour le SVG et le CHB. Toutes dates de fécondation confondues, le pourcentage d'hybrides germés augmente régulièrement avec la durée de mise en germination : il passe de 36 à 85% pour le CLT et de 32 à 78% pour le CHB entre les périodes 0-8h et 24-48h (figure 4). Ce phénomène n'a pas été observé pour le SVG.

Figure 4 : Variations du pourcentage d'hybrides germés en 48 heures dans la descendance du mil cultivé (CLT), sauvage (SVG) et chibra (CHB), pour les quatre périodes 0-8h, 8-16h, 16-24h et 24-48h. Les barres verticales représentent les erreurs standards.



DISCUSSION

Dans les régions où mil cultivé et mil sauvage sont en sympatrie, la fréquence des phénotypes intermédiaires (chibra) dans les champs cultivés varierait entre 5 et 30% (Rey-Herme, 1992), alors que dans les populations de mil sauvage au Sénégal et au Niger cette fréquence a été estimée à 31 et 19% respectivement (Marchais et Tostain, 1992). Ces observations attestent de l'importance de l'effet des échanges géniques dans la production de formes déviantes en conditions naturelles. Elles ne peuvent toutefois pas rendre compte de la forte dissymétrie de ces échanges, car elles amalgament toutes les formes intermédiaires, quel que soit leur statut génétique (F1, F2, croisements en retour...). Dans l'étude expérimentale présentée ici, les flux de gènes entre mil sauvage et mil cultivé ont pu être quantifiés par la production d'hybrides de première génération (Renno *et al.*, sous presse). La totalité de la période de floraison du mil cultivé s'inscrit dans celle du mil sauvage et plus de la moitié de la période de reproduction de ce dernier se déroule en dehors de la floraison du mil cultivé, donc en total isolement reproductif. Dans les conditions expérimentales présentées ici, si l'on considère les flux de gènes et la production de graines qui en résulte, la probabilité pour une plante d'engendrer un individu de même phénotype qu'elle est 14 fois plus élevée pour une plante sauvage que pour une plante cultivée. Le mil sauvage apparaît donc nettement plus efficace que le mil cultivé pour maintenir son intégrité phénotypique. De plus, son nuage pollinique n'apparaît jamais limitant pour l'hybridation puisque la production d'hybrides par l'échantillon de mil cultivé est toujours proche du maximum. La

disposition des plantes dans la parcelle a été conditionnée par la nécessité de quantifier les flux de gène en situation d'équiprobabilité de fécondation, toutes choses égales par ailleurs. Une telle disposition n'est évidemment jamais observée dans la nature où les plantes d'un même phénotype sont regroupées en champs cultivés ou en populations spontanées. Au contact d'un champ de mil et d'une population de mil sauvage, les échanges seraient donc dissymétriques et diminueraient en s'éloignant de la zone de contact, suivant la dispersion des nuages polliniques (Burton, 1974).

L'influence des barrières prézygotiques sur les échanges de gènes, quoique réelle, n'a pu être mise en évidence dans le cadre de cette expérimentation. En revanche, l'effet des barrières postzygotiques est perceptible à travers la perte de viabilité des hybrides produits par le mil cultivé. Ceci a déjà été signalé dans le cas de croisements contrôlés entre mil cultivé et mil sauvage (Amoukou & Marchais, 1993). A ce phénomène s'ajoute le retard de germination des plantes hybrides produites par le phénotype cultivé ou le phénotype chibra. En milieu paysan et en situation de compétition avec le mil chibra, le mil cultivé serait donc avantagé une première fois par une germination plus rapide dans le poquet, puis, au moment du démariage, lorsque le paysan choisi d'éliminer les plantes les moins vigoureuses (Couturon *et al*, 1997). Le maintien du mil cultivé dépend de pressions de sélections anthropiques. Toutefois, l'introgression de son génome par des gènes de populations sauvages évoluant sous les seules contraintes de la sélection naturelle, si elle favorise l'apparition de chibras peu productifs, pourrait aussi entretenir sa capacité d'adaptation aux fluctuations écologiques (notamment climatiques) caractéristiques de la zone sahélienne.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Dr. R.D. Stern de l'ICRISAT pour son appui en statistique, ainsi que les observateurs de l'ORSTOM et de l'IRI (Université de Niamey) qui ont participé à la collecte des données. Cette étude a été financée par l'ORSTOM et le programme CEE n° TS3-CT94-0280.

BIBLIOGRAPHIE

- Amblard S. and Pernès, J. 1989. The identification of cultivated pearl millet (*Pennisetum*) amongst plant on pottery from Oued Chebbi (Dhar Oualata, Mauritania). *Afr. Archeol. Rev.* 7: 117-126.
- Amoukou A.I. and Marchais, L. 1993. Evidence of a partial reproductive barrier between wild and cultivated pearl millets (*Pennisetum glaucum*). *Euphytica* 67: 19-26.
- Burton G.W. 1974. Factors affecting pollen movement and natural crossing in pearl millet. *Crop Sci.* 14: 802-805.
- Couturon E., Bezançon, G. and Renno, J.-F. 1997. Influence des pratiques culturales sur l'évolution de la fréquence des hybrides « chibra » dans un champs de mil, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., au Sahel. Managing Plant Genetic Resources in the African Savannah, International meeting, Bamako (Mali).
- Marchais L. and Tostain, S. 1992. Bimodal phenotypic structure of two wild pearl millet samples collected in agricultural area. *Biodiv. Conserv.* 1: 170-178.
- Pernès J., Combes, D., and Leblanc, J.M. 1984. Le Mil. In *Gestion des ressources génétiques des plantes*, tome 1: monographies. Edited by J. Pernès. ACCT, Paris. pp. 159-197.
- Renno J.F. and Winkel, T. 1996. Phenology and reproductive effort of cultivated and wild forms of *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br. under experimental conditions in the Sahel: implications for the maintenance of polymorphism in the species. *Can. J. Bot.* 74: 959-964.
- Renno J.F., Winkel, T., Bonnefous, F. and Bezançon, G. Quantitative study of gene flow between wild and cultivated *Pennisetum glaucum*: relation to the phenology of flowering and implications for the germination of the progeny. *Can. J. Bot.* (sous presse).
- Rey-Herme C. 1982. Les relations génétiques entres formes spontanées et cultivées chez le mil (*Pennisetum* sp.). Thèse de 3ème Cycle, Université Paris XI, Orsay, France.
- Robert T., Lespinasse, R., Pernès, J. and Sarr, A. 1991. Gametophytic competition as influencing gene flow between wild and cultivated forms of pearl millet (*Pennisetum typhoides*). *Genome* 34: 195-200.
- Sarr A., Sandmeier, M., and Pernès, J. 1988. Gametophytic competition in pearl millet *Pennisetum typhoides* (Stapf and Hubb.). *Genome* 30: 924-929.

**APPLICATION DES MARQUEURS MOLECULAIRES ET DE LA CARTOGRAPHIE
GENETIQUE A L'UTILISATION ET A LA CONSERVATION DES RESSOURCES
GENETIQUES DE L'ESPECE AFRICAINE DE RIZ CULTIVE,
ORYZA GLABERRIMA STEUD.**

**Ndjondjop M.N. (1), Lorieux M. (1), Séquier J. (1), Fargette D. (2), Reversat G. (3),
Second G. (1) & Ghesquière A. (1)**

(1) ORSTOM/LRGAPT, Montpellier - (2) CIRAD/LPRC, Montpellier - (3) ORSTOM/LEST, Bondy

RESUME

Un projet d'utilisation des ressources génétiques de l'espèce africaine de riz cultivé, *O. glaberrima* Steud. est développé par l'ORSTOM en collaboration avec l'ADRAO en Côte d'Ivoire. Une population issue d'un croisement entre une variété irriguée d'*O. sativa*, IR64, et la variété d'*O. glaberrima* Tog5681 a été développée pour être cartographiée avec des marqueurs moléculaires à base PCR (STS, microsatellites). Cette population servira de point de départ pour réaliser un programme d'introgression systématique qui sera dirigé par des marqueurs moléculaires cartographiés au cours de croisement successifs en utilisant IR64 comme parent récurrent. L'objectif est d'obtenir l'introgression de petits fragments d'*O. glaberrima* dans le même fond génétique d'*O. sativa* sous formes de lignées isogéniques plus propices à l'évaluation de la diversité génétique utile provenant de l'espèce africaine de riz cultivé. Deux caractères modèles ont été choisis pour réaliser leur transfert chez *O. sativa* : la résistance au virus de la panachure jaune du riz (RYMV) et la résistance au nématode *Heterodera sacchari*. Les premiers résultats concernant l'évaluation du polymorphisme entre les parents et la cartographie des marqueurs sur la population de croisement sont présentés et montrent que de fortes distorsions de ségrégation sur le chromosome 6 peuvent rendre compte de l'action d'un gène de stérilité sporo-gamétophytique sur ce chromosome. Néanmoins, l'évaluation de quelques individus de la population de croisement montre que le transfert des caractères cibles est faisable. Grâce à ce projet, l'identification et la caractérisation des barrières reproductives rendent possible la définition de ponts interspécifiques qui permettront de mieux gérer les ressources génétiques d'*O. glaberrima* tant sur le plan de leur utilisation que sur le plan de leur conservation.

INTRODUCTION

***O. glaberrima*, une ressource génétique pour l'amélioration variétale du riz**

O. glaberrima Steud. est une espèce de riz cultivé dont l'importance économique est limitée à l'Afrique de l'Ouest. Deux agroécotypes principaux sont observés : un type flottant tardif et photosensible cultivé dans les plaines inondables et un type dressé précoce et insensible à la photopériode qui est cultivé en culture pluviale ou en zone de bas-fonds modérément inondée (Bezançon, 1993). L'évaluation de la diversité des riz sauvages et cultivés en Afrique a confirmé clairement qu'*O. glaberrima* a été domestiqué en Afrique de l'Ouest à partir de l'espèce sauvage annuelle *O. breviligulata* A. Chev. et Roehr (= *O. barthii* A. Chev) (Second, 1982), bien longtemps avant l'introduction d'*O. sativa* L. dans cette même région (Portères, 1950). Depuis, l'espèce africaine de riz cultivé a été progressivement remplacée par *O. sativa* à cause de son faible potentiel de production dû à une grande sensibilité à la verse et à l'égrenage spontané. *O. glaberrima* se rencontre encore néanmoins en culture pure dans certaines conditions écologiques marginales (riz flottant au Tchad et au Mali, riziculture de mangrove en Guinée maritime). Les évaluations génétiques d'*O. glaberrima* concordent pour affirmer que sa diversité est faible quelque soit les marqueurs étudiés : isozymes (Second, 1982), RFLP de l'ADN nucléaire (Wang *et al.*, 1991), ou cytoplasmique (Dally et Second, 1990 ; Second et Wang, 1992). Au contraire, la domestication indépendante de deux lignées divergentes d'*O. rufipogon* Griff. a donné naissance chez le riz cultivé

asiatique *O. sativa* à deux grands groupes variétaux *indica* et *japonica* fortement structurés sur le plan génétique et analogues à deux sous-espèces (Second, 1982).

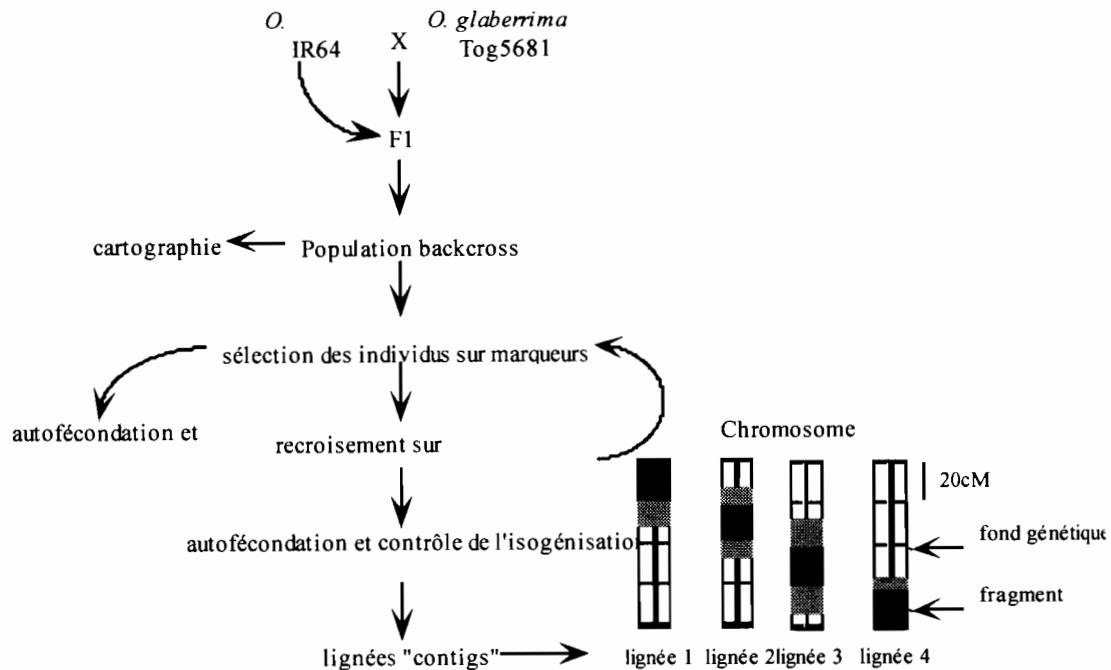
De nombreux échantillons d'*O. glaberrima* ont été collectés par l'ORSTOM-CIRAD, l'ADRAO et l'IITA pendant les 20 dernières années (Ng *et al.*, 1983). Ils ont constitué le matériel de base pour l'étude de la diversité génétique (Second, 1982), des barrières de stérilité F1 avec *O. sativa* (Pham et Bougerol, 1989) et des relations génétiques avec *O. breviligulata* (Bezançon, 1993). L'ADRAO en Côte d'Ivoire détient actuellement une collection de base de plus de 1 300 échantillons issus de ces prospections et qui font l'objet d'une caractérisation et d'une évaluation agronomique permanente (Jones *et al.*, 1994). De nombreuses caractéristiques intéressantes ont été identifiées dans certaines variétés : résistance au virus de la panachure jaune du riz (RYMV) (Attere et Fatokun, 1983 ; John *et al.*, 1985), résistance aux insectes : *Diopsis thoracica* (Alam, 1988 ; Sauphanor, 1985), résistance à des insectes foreurs des tiges (*Chilo zacconius* et *Maliarpha separata*, B. Vercambre, données non publiées), résistance à la cecidomyie africaine du riz provoquée par *Orseolia oryzivora* (Jones *et al.*, 1994). Egalement, *O. glaberrima* présente des résistances à certaines espèces de nématodes endoparasites (Diomandé, 1984 ; Reversat et Destombes, 1997). Enfin, *O. glaberrima* présente aussi des caractéristiques de développement végétatif précoce qui lui permettent d'être plus compétitif vis à vis des adventices (Jones *et al.*, 1994) et une meilleure adaptation à des stress abiotiques comme la salinité, la sécheresse, la toxicité ferrique (Sano *et al.*, 1984). Malgré toutes ces caractéristiques intéressantes, l'utilisation des riz africains s'est souvent limitée à l'obtention des premières générations de recroisement sans jamais réussir à transférer un seul trait favorable chez *O. sativa*. Cette difficulté d'utiliser *O. glaberrima* en amélioration des plantes tient à la très forte stérilité pollinique observée chez les hybrides interspécifiques (Pham et Bougerol, 1989 ; Sano, 1985 ; Oka, 1974). Des modèles génétiques basés sur des systèmes d'interaction sporo-gamétophytique ont été proposés pour rendre compte de la rémanence de la stérilité et de l'accélération du retour vers les types parentaux chez les plantes dérivées d'hybridations inter-spécifiques (Sano, 1985). De fait, l'isolement reproductif entre les deux espèces semble être extrêmement strict et ne permet pas l'observation d'essais d'hybrides spontanés lorsque les deux espèces sont en sympatrie. Récemment, l'ADRAO en Côte d'Ivoire a développé avec succès les techniques d'haplométhode sur des plantes issues de recroisement et a obtenu du matériel fixé qui est en cours d'évaluation agronomique (Jones *et al.*, 1996).

Les possibilités offertes par les marqueurs moléculaires cartographiés pour contrôler les introgressions à partir d'*O. glaberrima*

La difficulté de réaliser l'introgression des caractères d'*O. glaberrima* peut être réexaminée désormais grâce à de nouveaux moyens méthodologiques. Le développement des marqueurs moléculaires directement issus de l'ADN a permis de construire des cartes de liaisons génétiques très complètes dans le cas du riz (Causse *et al.*, 1994 ; Kurata *et al.*, 1994). Ces cartes constituent maintenant un outil précieux pour étudier les phénomènes de restriction à la recombinaison, de distorsion de ségrégation, et les relations morphologie-viabilité dans les produits d'hybridations entre les deux espèces de riz cultivé. Depuis deux ans, l'ORSTOM a initié avec l'ADRAO un projet d'introgression systématique du génome d'*O. glaberrima*. L'objectif est d'identifier et de suivre à travers un programme de recroisement assisté par les marqueurs moléculaires l'introgression de petits fragments d'*O. glaberrima* d'environ 15-20 cM dans un même fond génétique d'*O. sativa*. A terme, il s'agit de construire ces introgressions sous forme de lignées « contigs » où les fragments introgressés se chevauchent pour permettre de représenter la totalité du génome d'*O. glaberrima* (fig.1). Cette approche systématique et non ciblée *a priori* semble appropriée pour :

- i) détecter et cartographier toutes les caractéristiques intéressantes venant d'*O. glaberrima*,
- ii) informer valablement sur les mécanismes et les gènes intervenant dans les barrières de reproduction,
- iii) proposer à terme une nouvelle ressource génétique sous la forme de lignées fixées distribuables à n'importe quelle institution nationale ou internationale de recherche,
- iv) intégrer ce matériel dans un schéma global permettant de mieux gérer les ressources génétiques d'*O. glaberrima* sur le plan de leur utilisation en amélioration des plantes, comme sur le plan de leur conservation. Les premiers résultats concernant le développement de cette stratégie originale sont présentés.

Figure 1 : Schéma de croisement et concept de construction de lignées isogéniques.



RESULTATS

Développement du matériel génétique approprié

La première étape de ce projet a eu comme objectif d'établir une population issue d'un recroisement interspécifique dont la cartographie a permis d'établir une carte de liaison génétique de base et de choisir les individus pour lesquels les recroisements seront poursuivis afin d'initier le processus d'introgression systématique. Pour cela, la variété IR64 qui est une variété irriguée sélectionnée à l'IRRI a été retenue comme parent *O. sativa*. Le choix du parent *O. glaberrima* s'est orienté sur une variété particulière, photosensible, qui présente le grand intérêt de manifester une résistance totale au virus de la panachure jaune du riz (RYMV). Ce choix permettait ainsi d'envisager comment un caractère de résistance pouvait être transféré chez *O. sativa* au delà des barrières reproductives séparant les deux espèces. Plusieurs hybrides interspécifiques ont été obtenus. Ces hybrides sont complètement mâle-stériles et ont été intensivement recroisés avec IR64 comme parent récurrent pour aboutir à une population de taille non limitante (183 individus) et initier la cartographie des marqueurs.

Cette population se caractérise par une très forte stérilité pollinique. Une fraction importante de plantes présente des graines en autofécondation mais celles-ci s'accompagnent dans la majorité des cas d'une détérioration plus ou moins importante de l'albumen. Seules 3 plantes ont donné des descendances de graines normales en autofécondation. Il semble ainsi qu'en plus des phénomènes de stérilité, les barrières reproductives peuvent comporter des termes supplémentaires plus tardifs lorsque les fécondations mettent en jeu l'autopollen des plantes, car les recroisements de deuxième génération avec IR64 donnent des graines normales. Sur le plan morphologique, la population backcross est fortement déviée vers des plantes sensibles à la photopériode, pigmentées avec un type de panicules semblable à celui d'*O. glaberrima*. Tous ces caractères sont fortement associés et permettent d'individualiser un petit groupe de plantes précoces, non pigmentées qui renferme en outre les rares individus fertiles donnant des graines normales en autofécondation.

Polymorphisme et cartographie des marqueurs moléculaires

Le choix des marqueurs s'est orienté délibérément vers des marqueurs à base PCR qui seuls peuvent être compatibles avec les quantités d'analyses et la rapidité d'exécution requises pour un tel programme. Ces marqueurs sont des STS (Sequences tagged-sites), correspondant à l'amplification de l'ADN entre deux amorces spécifiques déterminées aux extrémités de sondes RFLP cartographiées, et issus d'ADN génomique ou d'ADNc. Ces marqueurs présentent comme les marqueurs RFLP l'avantage d'être locus-spécifiques et codominants. En outre, si les électrophorèses ne permettent pas de séparer les produits d'amplification et d'identifier directement un polymorphisme entre les deux parents, ces produits peuvent être digérés par des enzymes de restriction de l'ADN pour générer de nouvelles bandes et augmenter ainsi la probabilité de distinguer les parents. Une première série de 63 marqueurs STS (Inoue *et al.*, 1994) correspondant à des sondes d'ADN génomique cartographiées sur la carte de liaison intraspécifique (Kurata *et al.*, 1994) a été systématiquement testée sur les parents du croisement. Une deuxième série de 250 STS localisés sur la carte de référence interspécifique (Causse *et al.*, 1994) est en préparation à l'IRRI (Ghareyazie *et al.*, 1993) et une centaine d'entre elles ont pu être également testées sur les parents. Le polymorphisme de longueur de séquence unique (SSLP - Simple Sequence Length Polymorphism) est aussi une autre source de marqueurs particulièrement bien adaptés à ce programme. Ce polymorphisme provient d'un nombre variable de répétitions de courtes séquences nucléotidiques (di, tri ou tétra-nucléotidiques) et les marqueurs microsatellites contenant ces séquences sont très fréquents et largement distribués dans le génome du riz (Panaud *et al.*, 1995 ; Wu et Tanksley, 1993). Ils présentent aussi l'avantage d'être codominants et peuvent être amplifiés par leurs amorces PCR-spécifiques. En outre, ces marqueurs manifestent des variations alléliques beaucoup plus élevées que les marqueurs RFLP et RAPD ce qui permet de les utiliser même dans des croisements proches. 120 marqueurs microsatellites ont déjà été identifiés et cartographiés sur le croisement de référence (IR64 x Azucena) (McCouch *et al.*, 1996). Les séquences des amorces d'autres microsatellites cartographiés sont également disponibles (Akagi *et al.*, 1996).

Tableau 1 : Bilan du polymorphisme observé pour des marqueurs à base PCR (STS et microsatellites) entre les parents du croisement interspécifique (*O. sativa* x *O. glaberrima*).

Origine et nombre de marqueurs testés	Polymorphisme (direct)	Polymorphisme (après digestion)	Marqueurs utilisables en cartographie
65 STS (génomique)	12,3%	33,8	14
90 STS (génomique + cDNA)	6,7%	-	3
20 STS (génomique + cDNA)		35	3
44 microsatellites	88,7%	-	36
Total		-	56

Les premiers résultats concernant l'évaluation du polymorphisme entre les parents sont présentés dans le tableau 1. Compte tenu du temps de divergence et de l'isolement reproductif entre les deux espèces de riz cultivé (Second, 1982), un polymorphisme significativement plus élevé que celui observé par Ghareyazie *et al.* (1993) parmi les variétés d'*O. saliva* était attendu. Néanmoins, le polymorphisme détecté par les STS est faible, même en augmentant la résolution avec des gels d'acrylamide. Le polymorphisme est augmenté légèrement en digérant les produits d'amplification mais seuls un petit nombre de marqueurs de ce type seront utilisables en cartographie. Au contraire, les premières évaluations sur les marqueurs microsatellites montrent un polymorphisme très élevé qui permettra la cartographie d'une majorité d'entre eux. La cartographie des marqueurs a commencé et donne déjà des informations intéressantes sur les phénomènes de distorsion de ségrégation dans cette population. Ainsi, le STS G30 sur le chromosome 6 montre une distorsion extrême en faveur de l'allèle porté par *O. glaberrima* puisque la fréquence de celui-ci est supérieure à 92%. Cette distorsion suggère que, chez les hybrides F1, la stérilité agit au niveau femelle et peut traduire la proximité d'un gène de stérilité sporo-gamétophytique de type « gamete eliminator » chez *O. glaberrima*. Ce gène pourrait correspondre au gène S10 identifié par Sano *et al.* (1994) à proximité immédiate du gène *wx* sur l'extrémité du chromosome 6. En effet, le marqueur G30 est à moins de 10 cM de *wx* sur la carte intraspécifique de Kurata *et al.* (1994). En outre, les rares plantes présentant

l'allèle venant d'*O. sativa* pour le marqueur G30 appartiennent toutes à ce petit groupe de plantes précédemment individualisé sur le plan morphologique.

Evaluation de la diversité utile d'*O. glaberrima* en vue de son transfert chez *O. sativa*

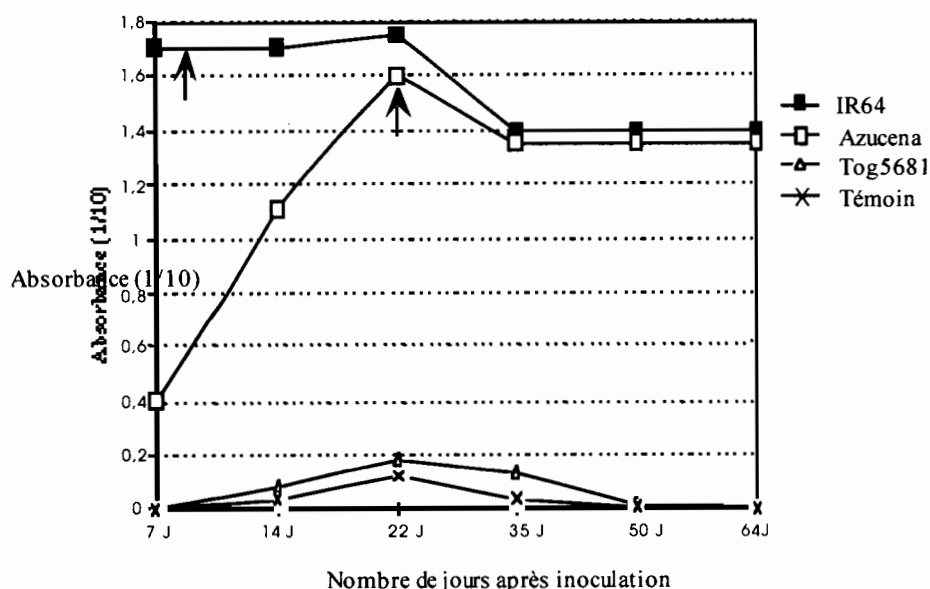
Parallèlement au développement de la population de cartographie, les parents ont été évalués comparativement pour différents caractères comme un préalable à l'évaluation ultérieure des descendances et à la recherche de marqueurs de ces caractères. Deux caractères agronomiques particulièrement importants pour la riziculture africaine ont été étudiés : la résistance au virus de la panachure jaune du riz (RYMV) et la résistance au nématode *Heterodera sacchari*. Etant donné la forte stérilité des plantes issues de recroisement et pour éviter la perte des génotypes en cas de forte sensibilité, 20 individus ont été dédoublés à un mois et demi pour être évalués pour la résistance au RYMV. De même, des boutures de noeuds (3 à 5 par individus) ont été prélevées sur 21 plantes âgées de 3 mois et demi pour fournir le matériel nécessaire à l'évaluation de la résistance à *Heterodera sacchari*.

Résistance à la panachure jaune du riz causée par le RYMV

La panachure jaune du riz a été identifiée pour la première fois au Kenya (Bakker, 1971) et s'est rapidement répandue dans l'ensemble du continent africain et à Madagascar où elle est à l'origine de dégâts très importants en riziculture irriguée (Awoderu, 1991). L'agent de cette maladie est un sobemovirus qui est transmis par différentes espèces de coléoptères (*Chrysomelidae* spp.) (Hull, 1988). Le RYMV a un pouvoir infectieux très élevé ; il est présent chez de nombreuses espèces de graminées sauvages y compris l'espèce sauvage de riz *O. longistaminata* A. Chev. & Roehr. et peut être en plus transmis mécaniquement (Thresh, 1991). Dans ces conditions, l'identification et le transfert de résistances naturelles représentent une solution réaliste pour lutter contre ce virus. L'évaluation de la résistance variétale est basée sur des inoculations artificielles à des stades précis à partir de souches de virus de référence multipliées sur des variétés très sensibles (BG90-2). La concentration en virus est ensuite mesurée par des test-Elisa (Clark et Adams, 1977) plus ou moins longtemps après l'inoculation et le contenu en virus peut être confronté avec l'observation des premiers symptômes. Plusieurs variétés d'*O. glaberrima* ont été testées comparativement à deux variétés d'*O. sativa* de référence, IR64 (sensible) et Azucena (résistante).

Lorsque les lignées sont testées très précocement (inoculation 10 jours après semis et test-Elisa 7 jours après inoculation), la concentration virale est très élevée chez IR64 alors qu'elle est faible chez Azucena. Parmi les différentes variétés d'*O. glaberrima* qui ont été testées, seule la variété Tog5681 montre un contenu en virus extrêmement faible même avec une souche originaire du Burkina Faso réputée plus agressive que les autres souches de virus. Le suivi de la concentration virale au cours du temps montre des évolutions très différentes suivant les lignées testées. Chez une variété très sensible comme IR64, le contenu en virus est déjà maximum au 7^e jour après l'inoculation et les premiers symptômes sont nettement visibles à partir du 10^e jour. Au contraire, la résistance d'Azucena et des variétés considérées comme résistantes chez *O. sativa* se traduit par une progression plus lente de la concentration virale et une apparition plus tardive des symptômes, associée à un impact plus faible de la maladie sur la floraison et la fertilité (Ghesquière *et al.*, 1997). Dans ces conditions, la variété Tog5681 présente un contenu en virus très faible qui reste stable pendant toute la vie de la plante même longtemps après la floraison et sans jamais montrer de symptômes ni d'effets sur la croissance des plantes inoculées (fig. 2). Ce type de résistance chez *O. glaberrima* qui s'apparente à une quasi « immunité » n'est pas fréquente et seules de rares lignées d'*O. glaberrima* la manifeste (Paul *et al.*, 1995). L'étude de l'hérédité de la résistance au RYMV chez *O. glaberrima* à partir d'une analyse diallèle a montré par ailleurs que cette résistance était de nature récessive avec une forte composante génétique additive (Paul *et al.*, 1995). Des boutures d'hybrides F1 (IR64 x Tog5681) et de 20 individus issus de recroisements sur IR64 ont été réalisées et testées suivant des conditions similaires aux parents. Tous les individus testés montrent des concentrations virales très fortes et du même ordre qu'IR64. Les résultats confirment donc bien la nature récessive de la résistance provenant d'*O. glaberrima*. Celle-ci implique vraisemblablement peu de gènes au vu de l'homogénéité de la réponse des plantes issues de recroisement.

Figure 2 : Evolution de la concentration virale en fonction du temps chez deux lignées témoins d'*O. sativa* et chez la lignée résistante d'*O. glaberrima* Tog5681. La flèche indique l'apparition des premiers symptômes.



Résistance à *Heterodera sacchari*

Le nématode *Heterodera sacchari* a été décrit pour la première fois comme parasite de la canne à sucre (Luc et Merny, 1963) mais c'est sur le riz pluvial et inondé qu'il a été identifié comme un pathogène très important dans différents pays d'Afrique (Merny, 1970 ; Babatola, 1983a). L'évaluation variétale n'a pas permis d'identifier de variétés résistantes chez *O. sativa* (Babatola, 1983b) ; en revanche, des variétés résistantes à plusieurs souches de ce parasite ont été identifiées chez *O. glaberrima* (Reversat et Destombes, 1997). L'évaluation de la résistance repose sur des inoculations par un inoculum connu de juvéniles fraîchement éclos sur de jeunes plantules cultivées sur milieu stérile dans des microserres ou des tubes individuels qui permettent d'assurer un isolement complet de chaque individu. Au bout de 5 semaines (1ère génération) ou 11 semaines (2ème génération) de contact avec l'inoculum, les kystes visibles sur les racines sont dénombrés et disséqués à l'aide de permanganate de potassium qui provoque leur éclosion (Reversat, 1981). L'évaluation peut être complétée par une mise du système racinaire sous asperseur qui permet de récupérer les juvéniles. La population finale obtenue peut être ainsi comparée avec l'inoculum (population initiale) et permet d'apprécier le coefficient de multiplication du nématode sur l'espèce ou la variété-hôte considérée. L'évaluation d'une collection représentative de riz (43 variétés d'*O. sativa* et 21 d'*O. glaberrima*) montre que toutes les variétés d'*O. sativa* sont très sensibles à *Heterodera sacchari* quelque soit leur origine géographique ou leur type variétal avec des coefficients de multiplication allant de 11 à 25. Au contraire, une proportion importante de variétés d'*O. glaberrima* (70%) est résistante avec un coefficient de multiplication inférieur à 1 (Reversat et Destombes, 1997). Cette résistance chez le riz cultivé africain s'observe également chez son ancêtre sauvage direct *O. breviligulata* puisque 7 souches sur les 9 testées sont résistantes (Reversat et Destombes, 1997). L'étude des lignées d'*O. sativa* et d'*O. glaberrima* impliquées dans les croisements cartographiés a été répétée dans une nouvelle évaluation plus précise impliquant 7 répétitions ; celle-ci a confirmé à nouveau l'absence de kystes visibles sur les différentes lignées d'*O. glaberrima* testées et en particulier sur le parent *O. glaberrima* Tog5681 (tab. 2).

Le test de boutures prélevées sur un échantillonnage de 21 plantes issues du recroisement interspécifique montre que certains individus ont un comportement analogue à *O. glaberrima*

suggérant que cette résistance pourrait être dominante. Ces résultats doivent être pris avec prudence car l'hétérogénéité des boutures entraîne un développement plus ou moins tardif des racines qui peut ne plus correspondre avec la période d'inféctivité de l'inoculum et induire une classification erronée d'individus dans la classe des plantes résistantes. Néanmoins, la descendance de l'une des rares plantes fertiles a pu être testée suivant le protocole standard sur graines et confirme bien une ségrégation entre des plantes résistantes et sensibles en accord avec un gène de résistance dominant.

Tableau 2 : Evaluation de la résistance à l'espèce de némadode *Hérodéra sachari* chez *O. sativa*, *O. glaberrima* et des descendances interspécifiques 5 semaines après inoculation.

Lignées ou descendances	Nb d'individus ou génotypes	présence de kystes	population finale de nématodes
<i>O. sativa</i>			
Moroberekan	7	Présence	2 098
IR64	7	Présence	1 644
Azucena	7	Présence	2 186
<i>O. glaberrima</i>			
CG14	7	Absence	1,8
CG20	7	Absence	1,4
SG329	7	Absence	0,3
Tog5673	7	Absence	0,3
Tog5681	7	Absence	0,1
BC1 : (IR64 x Tog5681) x IR64	3	Absence	0
(boutures)	9	Présence	167
1 BC1F2	13	Absence	0
(graines)	4	Présence	221

DISCUSSION

L'identification des barrières reproductives représente un facteur-clé dans un programme d'introgression avec *O. glaberrima*, car la restauration de la fertilité est indispensable d'une part pour évaluer les descendances interspécifiques vis-à-vis des caractères cibles et d'autre part pour continuer les croisements avec les plantes retenues. Chez le riz, de très nombreux gènes de barrière reproductrice ayant des modes d'action variables ont été décrits. Ainsi des gènes gamétophytiques dupliqués expliquent la stérilité pollinique F1 observée dans les croisements entre variétés *indica* et *japonica* d'*O. sativa* (Oka, 1974). Dans les combinaisons avec *O. glaberrima*, les systèmes de stérilité sporo-gamétophytique ont pour caractéristique de pouvoir intervenir également sur le gamétophyte femelle et ont donc pour conséquence de pérenniser la stérilité même au cours des croisements successifs. Loin d'être dispersés sur le génome du riz, de nombreux gènes de stérilité intervenant dans les barrières reproductives sont localisés sur le chromosome 6. La distorsion observée pour le marqueur *G30* témoigne vraisemblablement de la présence d'un de ces gènes de stérilité sporo-gamétophytique. Lorsque l'on compare la position de marqueurs communs aux différentes cartes de liaison génétique disponibles (*wx*, *G30*, *C*, *Est-2*), la zone distale du chromosome 6 est très sensiblement plus petite dans le croisement entre *O. sativa* et *O. glaberrima* par rapport à ce que l'on observe entre les mêmes marqueurs sur les cartes de référence intraspécifiques ou même interspécifiques. Sur le plan morphologique, la forte déviation de la population est également conforme avec la présence de gènes gouvernant certains caractères concernés par les distorsions sur le chromosome 6 : gène de photosensibilité *Se-1*, gène *C*, codant pour le chromogène qui permet la pigmentation anthocyanique de certains organes de la plante, QTLs intervenant sur la ramification des panicules (Pham, 1990). Ainsi, la liaison génétique de ces caractères avec des gènes de stérilité extrêmement puissants peut rendre compte des relations morphologie-viabilité et des restrictions à la recombinaison sur les secteurs chromosomiques concernés.

Théoriquement, l'introgression chez *O. sativa* d'un caractère lié à un « gamète eliminator » présent chez *O. glaberrima* sera favorisée au cours des croisements successifs mais sera liée à une stérilité très forte. Inversement si le gène provoquant la stérilité est présent chez *O. sativa*, il ne sera pas possible d'introgresser un gène utile issu d'*O. glaberrima*. Les travaux de Sano (1985) à partir de lignées isogéniques suggèrent la présence simultanée de tels gènes sporo-gamétophytiques à la fois chez *O. sativa* et *O. glaberrima*. L'observation de graines dont l'albumen est détérioré dans les autofécondations des plantes issues de croisement peut témoigner de phénomènes de complémentarité entre ces gènes et des effets de dosage défavorable dans l'albumen triploïde. De fait, la restauration de la fertilité des croisements entre *O. sativa* et *O. glaberrima* varie beaucoup suivant les combinaisons mises en jeu. Certaines variétés d'*O. glaberrima* de Casamance (Sénégal) sont plus aptes à donner des descendants fertiles alors que d'autres variétés sont très difficiles à croiser et ceci quelque soit le parent *O. sativa* concerné. En outre, il semble exister une relation entre l'aptitude à l'androgénèse et la possibilité de donner des descendants fertiles. Les croisements avec les variétés pluviales du groupe *japonica* sont plus faciles et permettent une restauration de la fertilité nettement meilleure que les combinaisons avec des variétés *indica* (Jones *et al.*, 1996). La comparaison des distorsions de ségrégation entre descendances issues naturellement de croisement et issues d'haplométhode pourrait renseigner valablement sur l'acquisition de la stérilité par les microspores et si l'androgénèse permettait de court-circuiter certaines barrières reproductives. Enfin, il est observé que des descendances interspécifiques fixées peuvent être recroisées plus facilement que ce soit avec des variétés très difficiles à croiser d'*O. glaberrima* ou des variétés *indica* d'*O. sativa* (M. Jones, comm. pers.). Ceci suggère donc qu'au cours des générations avancées, les « gamètes eliminator » sont fixés et peuvent jouer un rôle efficace de ponts interspécifiques vis-à-vis d'autres lignées d'*O. glaberrima*.

La cartographie du génome d'*O. glaberrima* permet de mettre en évidence des points chauds renfermant des gènes de barrière reproductrice dont l'identification est indispensable pour déterminer l'utilisation potentielle de l'espèce africaine de riz en introgression avec *O. sativa*. Les résultats soulignent également l'importance de travailler sur des effectifs élevés permettant par marqueurs moléculaires de détecter de rares recombinants favorables pour lesquels la fertilité ne serait plus limitante. Ceux-ci peuvent fournir les descendances nécessaires pour l'évaluation des caractères intéressants et l'étude de leur hérédité dans un contexte génétique interspécifique. Dans cet objectif, une vingtaine d'individus ont été recroisés avec IR64 pour fournir la deuxième génération tout en limitant la dérive en génome d'*O. glaberrima*. La cartographie génétique a permis déjà d'identifier différents segments chromosomiques pour lesquels un processus d'introgression est envisageable grâce aux marqueurs moléculaires. L'obtention de lignées d'introgression fixées connues et la caractérisation des barrières reproductives prennent tout leur intérêt dans la mesure où d'une part il n'est pas envisageable de reproduire cette approche systématique sur un grand nombre de lignées différentes d'*O. glaberrima* et où, d'autre part, les caractères utiles susceptibles d'être introgressés sont très largement dispersés dans les variétés d'*O. glaberrima*. L'utilisation de ponts interspécifiques bien caractérisés offre à terme deux avantages en gestion des ressources génétiques : premièrement, celui de pouvoir constituer des populations sources dont la diversité génétique serait plus facilement mobilisable en amélioration des plantes (prebreeding) et deuxièmement celui de fournir les bases rationnelles d'une conservation dynamique des ressources génétiques d'*O. glaberrima* sous forme vivante (conservation *in situ* ou conservation à la ferme).

REFERENCES

- Akagi H, Yokoseki Y, Inagaki A, Fujimura T (1996) Microsatellite DNA markers for rice chromosomes. *Theor. Appl. Genet.* 93:1071-1077
- Alam M (1988) Evaluation of rice cultivars for resistance to *Diopsis longicornis* (Diptera: Diopsidae). *J. Econ. Entomol.* 81:934-936
- Attere A, Fatokun C (1983) Reaction of *Oryza glaberrima* accessions to rice yellow mottle virus. *Plant Dis.* 67:420-421
- Awoderu VA (1991) Rice Yellow Mottle virus in West Africa. *Trop. Pest Management* 37:356-362
- Babatola J (1983a) Pathogenicity of *Heterodera sacchari* on rice. *Nematologia Mediterranea* 11:21-25

- Babatola J (1983b) Rice cultivars and *Heterodera sacchari*. Nematologia Mediterranea 11:103-105
- Bakker W (1971) Three new beetle vectors of Rice Yellow Mottle Virus in Kenya. Neth. J. Pl. Pathol. 77:201-206
- Bezançon G (1993) Le riz cultivé d'origine africaine *Oryza glaberrima* Steud. et les formes sauvages apparentées : diversité, relations génétiques et domestication. Thèse d'Etat, Université Paris XI-Orsay
- Causse MA, Fulton TM, Cho YG, Ahn SN, Chunwongse J, Wu K, Xiao J, Yu Z, Ronald PC, Harrington SE, Second G, McCouch SR, Tanksley SD (1994) Saturated molecular map of the rice genome based on an interspecific backcross population. Genetics 138:1251-1274
- Clark MF, Adams RN (1977) Characteristics of the microplate method of Enzyme Linked Immuno-Sorbent Assay for the detection of plant viruses. J. Gen. Virol. 34:475-483
- Dally A, Second G (1990) Chloroplast DNA diversity in wild and cultivated species of rice (Genus *Oryza* section *Oryza*). Cladistic-mutation and genetic-distance analysis. Theor. Appl. Genet. 80:209-222
- Diomandé M (1984) Response of upland rice cultivars to *Meloidogyne* species. Revue Nématol. 7:57-63
- Ghareyazie B, Huang N, Second G, Bennett J, Khush GS (1993) Comparison between PCR-based RFLP and Southern-based RFLP as DNA markers for germplasm classification in rice (*Oryza sativa* L.). Rice Genet. News. 10:129-132
- Ghesquiere A, Albar L, Lorieux M, Ahmadi N, Fargette D, Huang N, McCouch S, Notteghem J (1997) A major QTL for rice yellow mottle virus (RYMV) resistance is lying in a cluster of blast resistance genes on chromosome 12. Phytopathology (soumis)
- Hull R (1988) The sobemovirus group. In: R Koenig (eds) The Plant viruses III. Polyedral virions with monopartite RNA genomes. Plenum Press, New York, pp Pages 113-146
- Inoue T, Zhong HS, Miyao A, Ashikawa I, Monna L, Fukuoka S, Miyadera N, Nagamura Y, Kurata N, Sasaki T, Minobe Y (1994) Sequence-tagged sites (STSs) as standard landmarks in the rice genome. Theor. Appl. Genet. 89:728-734
- John V, Thottapilly G, Ng N, Allury K, Gibbons J (1985) Varietal reaction to rice yellow mottle virus resistance. FAO Plant Protection Bull. 33:109-111
- Jones M, Dingkuhn M, Aluko G, Semon G (1996) Interspecific *O. sativa* L. x *O. glaberrima* Steud. progenies in upland rice improvement. Workshop : Africa/Asia joint research on interspecific hybridization between the african and asian rice species (*O. glaberrima* and *O. sativa*). WARDA, Bouaké, Côte d'Ivoire.
- Jones M, Heinrichs E, Johnson D, Riches C (1994) Caracterisation and utilisation of *Oryza glaberrima* in the upland rice breeding programme. WARDA, Annual report 1993, pp. 3-13. WARDA, Côte-d'Ivoire
- Kurata N, Nagamura Y, Yamamoto K, Harushima Y, Sue N, Wu J, Antonio BA, Shomura A, Shimizu T, Lin S-Y, Inoue T, Fukuda A, Shimano T, Kuboki Y, Toyama T, Miyamoto Y, Kirihaara T, Hayasaka K, Miyao A, Monna L, Zhong HS, Tamura Y, Wang Z-X, Momma T, Umehara Y, Yano M, Sasaki T, Minobe Y (1994) A 300 kilobase interval genetic map of rice including 883 expressed sequences. Nature Genetics 8:365-372
- Luc M, Merny G (1963) *Heterodera sacchari* n. sp. (Nematoda : *Tylenchoidea*) parasite de la canne à sucre au Congo-Brazaville. Nematologica 9:31-37
- Merny G (1970) Les nématodes phytoparasites des rizières inondées en Côte d'ivoire. I. les espèces observées. Cah. ORSTOM, sér. Biol. 11:3-43
- Ng N, Jacquot M, Abifarín A, Goli K, Ghesquière A, Miezán K (1983) Rice germplasm collection and evaluation in West Africa. In: Proceedings of the International Rice Genetic Resources, IRRI, Lõs Baños, the Philippines, 1983, pp
- Oka H (1974) Analysis of genes controlling F1 sterility in rice by the use of isogenic lines. Genetics 77:521-534
- Panaud O, Chen X, McCouch S (1995) Frequency of microsatellite sequences in rice (*Oryza sativa* L.). Genome 38:1170-1176
- Paul C, Ng N, Laleinde T (1995) Diallel analysis of resistance to rice yellow mottle virus in african rice *O. glaberrima* Steud. J. Genet. & Breed. 49:217-222

- Pham J (1990) Identification of genetic markers for quantitative traits in rice. C. R. Acad. Sci. Paris Série III, 310:477-483
- Pham J, Bougerol B (1989) Abnormal segregation patterns in crosses between *Oryza sativa* and *O. glaberrima*. Rice Genet. News. 6:80-82
- Portères R (1950) Vieilles agricultures de l'Afrique intertropicale. Centres d'origine et de diversification variétale primaire et berceaux de l'Agriculture antérieure au XVI^e siècle. Agronomie Tropicale V:489-507
- Reversat G (1981) Potassium permanganate as a hatching agent for *Heterodera sacchari*. Revue Nématol. 4:174-176
- Reversat G, Destombes D (1997) Screening for resistance to *Heterodera sacchari* in the two cultivated rice species, *Oryza sativa* and *O. glaberrima*. Fundamental and Applied Nematology soumis:
- Sano Y (1985) Sterility barriers between *Oryza sativa* and *O. glaberrima*. In: Rice Genetics, Proceedings of the International Genetics Symposium, IRRI, Los Baños, the Philippines, 27-31 may 1985, pp 109-118
- Sano Y, Sano R, Eiguchi M, Hirano H (1994) Gametic eliminator adjacent to the *wx* locus as revealed by pollen analysis in rice. J. Hered. 85:310-312
- Sano Y, Sano R, Morishima H (1984) Neighbour effects between two occurring rice species, *Oryza sativa* and *O. glaberrima*. J. Appl. Ecol. 21:245-254
- Sauphanor B (1985) Some factors of upland rice tolerance to stem-borers in West Africa. Insect Science and its application 6:429-434
- Second G (1982) Origin of the genic diversity of cultivated rice (*Oryza* spp.): study of the polymorphism scored at 40 isozyme loci. Jpn. J. Genet. 57:25-57
- Second G, Wang Z (1992) mitochondrial DNA RFLP in genus *Oryza* and cultivated rice. Gen. Res. & Crop Evol. 39:125-140
- Thresh JM (1991) The ecology of tropical viruses. Plant Pathol. 40:324-329
- Wang Z, Second G, Tanksley S (1991) Polymorphism and phylogenetic relationships among species in the genus *Oryza* as determined by analysis of nuclear RFLPs. Theor. Appl. Genet. 83:565-581
- Wu K, Tanksley S (1993) Abundance, polymorphism and genetic mapping of microsatellites in rice. Mol. Gen. Genet. 241:225-235

INFLUENCE DES PRATIQUES CULTURALES SUR L'EVOLUTION DE LA FREQUENCE DES HYBRIDES CHIBRA DANS UN CHAMP DE MIL, *PENNISETUM GLAUCUM* (L.) R. Br., AU SAHEL

Couturon E., Bezançon G., Renno J.F.

ORSTOM, Laboratoire de Génétique des Plantes, Niamey, Niger

RESUME

Les rendements en mil sont affectés par la proportion dans les champs de plantes chibra issues du brassage génétique entre la forme domestiquée et la forme sauvage. L'homme contrecarre ces échanges en appliquant une méthode culturale dont l'efficacité a été appréciée dans cette étude. En conditions contrôlées, des croisements entre mil cultivé et mil sauvage ont permis d'obtenir des semences de mil cultivé incluant une proportion connue d'hybrides (chibra F1). En champ paysan l'évolution du taux de survie des plantes et de la fréquence des chibras a été suivie au cours des différentes étapes de la culture : semis, germination, émergence, démariage, floraison et maturation. Le taux de germination des graines de 87% au laboratoire était de 44% au champ. La fréquence d'hybrides, corrélée au taux de survie des plantes, était de 41% dans les semences, de 30% dans la phase de germination, de 23% au stade de l'émergence. Elle chuta à 9% après le démariage des plantules par le paysan, tandis qu'elle n'était pas affectée par le démariage spontané des poquets. Des pressions de sélections naturelles et anthropiques contribuent au maintien dans l'agrosystème de l'intégrité du mil cultivé au contact du mil sauvage.

INTRODUCTION

Les paysans sahéliens différencient dans leurs champs de mil les formes déviantes des formes cultivées, les qualifiant de « chibra » en langage Haoussa au Niger, ou « N'doul » en Oualof au Sénégal. Les botanistes ont tout d'abord classé ces plantes déviantes ainsi que les formes sauvages et les formes cultivées au rang d'espèces, puis plus récemment au rang de sous-espèces (Van der Zon, 1992). Dans les régions où le mil cultivé et le mil sauvage sont en sympatrie, la fréquence des formes chibra dans les champs varie de 5% à 30% (Rey-Herme, 1992). Dans les populations de mil sauvage au contact du mil cultivé, cette fréquence a été estimée à 31% au Sénégal et à 19% au Niger (Marchais et Tostain, 1992). Des échanges géniques importants au sein de *P. glaucum* expliquent la faible différenciation isoenzymatique observée entre mil sauvage et mil cultivé qui correspond à celle observée entre des populations très proches (Tostain, 1993). Les flux de gènes entre la forme sauvage et la forme cultivée ont été mesurés dans une situation de voisinage similaire, en conditions expérimentales (Renno *et al.*, sous presse). Très dissymétriques, ils sont cinq fois plus importants dans le sens du mil sauvage vers le mil cultivé que dans l'autre sens. La distinction de trois sous-espèces chez le mil est donc peu justifiée au sens biologique. Le polymorphisme de *P. glaucum* est en grande partie le résultat du maintien en équilibre des formes extrêmes sauvages et cultivées, dû à des pressions de sélection différentielles, à des isolements à la reproduction (Renno *et al.*, 1996) et à des barrières à la reproduction prézygotiques (Sarr *et al.*, 1988 ; Robert *et al.*, 1991) ou postzygotiques (Amoukou et Marchais, 1993). Au-dessus du 14^{ème} parallèle nord, dans les zones où le mil cultivé est en contact avec le mil sauvage, les champs seraient donc rapidement envahis par les formes chibra s'il n'existait pas de fortes pressions de sélection naturelles et anthropiques contribuant à son élimination. Un retard de la germination de graines hybrides comparée à celle de graines du mil cultivé avait déjà été mis en évidence par Renno *et al.*, (1997). Le mil cultivé pourrait alors être avantagé, d'abord dans les poquets du fait de sa germination plus rapide, puis au moment du démariage quand le paysan choisit de conserver les plantes les plus vigoureuses. Dans le but de tester cette hypothèse, ainsi que de préciser la nature des pressions de sélection et de les quantifier, une expérimentation a été conduite dans un champ paysan. L'impact des principales pratiques paysannes (choix des semences, semis en poquet, démariage) sur l'évolution de la fréquence des hybrides chibra a été suivi au cours des différentes étapes culturales.

METHODES EXPERIMENTALES

Principe d'étude

Les semences utilisées par le paysan avaient été produites l'année précédente en conditions expérimentales par des croisements en fécondation libre entre du mil cultivé (cultivar Ankoutess) et du mil sauvage originaires de la région de Tanout (Niger). Préalablement, les géniteurs utilisés dans les croisements avaient été triés par électrophorèse enzymatique sur gel d'amidon, avec le système PGM (phosphoglucomutase), selon deux génotypes homozygotes au même locus : *Pgm* (100, 100) pour l'échantillonnage de mil cultivé et *Pgm* (104, 104) pour celui de mil sauvage. Dans ces conditions, les graines récoltées sur les plantes de phénotype cultivé puis fournies au paysan avaient deux génotypes possibles au locus *Pgm* dont les proportions ont pu être évaluées : soit *Pgm* (100, 100) si elles étaient issues du croisement cultivé x cultivé ou d'une autofécondation, soit *Pgm* (100, 104) si elles étaient issues d'une hybridation cultivé x sauvage. Ainsi, le génotype hybride ou cultivé des plantes du champ paysan a pu être déterminé par électrophorèse enzymatique à chaque stade de la culture, du début de la germination des graines jusqu'à la maturation. De plus, le génotype *Pgm* (100, 100) s'est exprimé préférentiellement par le phénotype cultivé et le génotype *Pgm* (100, 104) par le phénotype hybride chibra F1, intermédiaire entre les deux formes parentales.

Mise en place du champ par le paysan

Une parcelle de 3 m x 35 m a été délimitée dans une zone de culture du mil située 70 km à l'est de Niamey. Les opérations culturales ont été confiées à un cultivateur de cette zone. Les semences lui ont été fournies en début de saison des pluies sous la forme de 500 lots de 50 graines destinés au semis de 500 poquets selon le mode traditionnel.

Prélèvements et observations

Aux différents stades phénologiques des plantes (pré-émergence, émergence, floraison, maturation), ainsi qu'à chaque opération culturale (semis en poquets et démariage), un ou plusieurs échantillons de poquets tirés au sort ont été étudiés. Pour chaque poquet de ces échantillons, les plantes ont été dénombrées (estimation du taux de survie), leur taille a été mesurée (comparaison des croissances) et le locus *Pgm* a été analysé (détermination du taux d'hybrides chibra F1). Préalablement au semis en champ, 450 graines mises en germination en boîtes de Pétri ont permis de déterminer le taux de germination et la fréquence initiale d'hybrides chibra F1 dans les semences. L'âge des plantes a été mesuré en jours après semis (JAS). Au total, l'ensemble de ces observations a été réalisé à 5 reprises :

- à la pré-émergence (8 JAS) : seule une fraction des plantules de chaque poquet avait émergée, 42 poquets tirés au sort ont été prélevés et observés, dont 22 ont été analysés pour le locus *Pgm* ;
- à l'émergence (23 JAS) : toutes les plantules avaient émergé, 41 poquets tirés au sort ont été prélevés et observés ;
- au stade du démariage (36 JAS) : celui-ci a été déterminé par le paysan, 3 catégories de poquets ont été constituées selon son jugement :
 - des poquets non démariables (ND) parce que l'effectif de plantes était trop faible ;
 - des poquets démariables qui ont été démariés (D) ;
 - des poquets démariables qui n'ont pas été démariés (DND).

Un tirage au sort a été réalisé dans chacune de ces catégories aboutissant à 3 échantillons, soit 27 poquets non démariables (ND), 26 poquets démariés (D), 14 poquets démariables non démariés (DND). Mises à part les observations sur les plantes éliminées par le paysan au démariage (poquets D), toutes les observations ont été réalisées *in situ* en préservant les poquets. Seul un fragment de feuille a été prélevé sur les plantes pour l'analyse enzymatique :

- à la floraison (87 JAS) : les plantes des mêmes poquets (27 ND, 26 D, 14 DND) ont été dessouchées et observées ;
- à la fin de la maturation (110 JAS) : les observations ont porté sur le reste des poquets, soit 78 poquets non démariables (ND') et 16 poquets démariés (D'). Un bilan des plantes ayant produit des graines a été établi.

Tous les poquets de la parcelle ont donc été observés.

RESULTATS

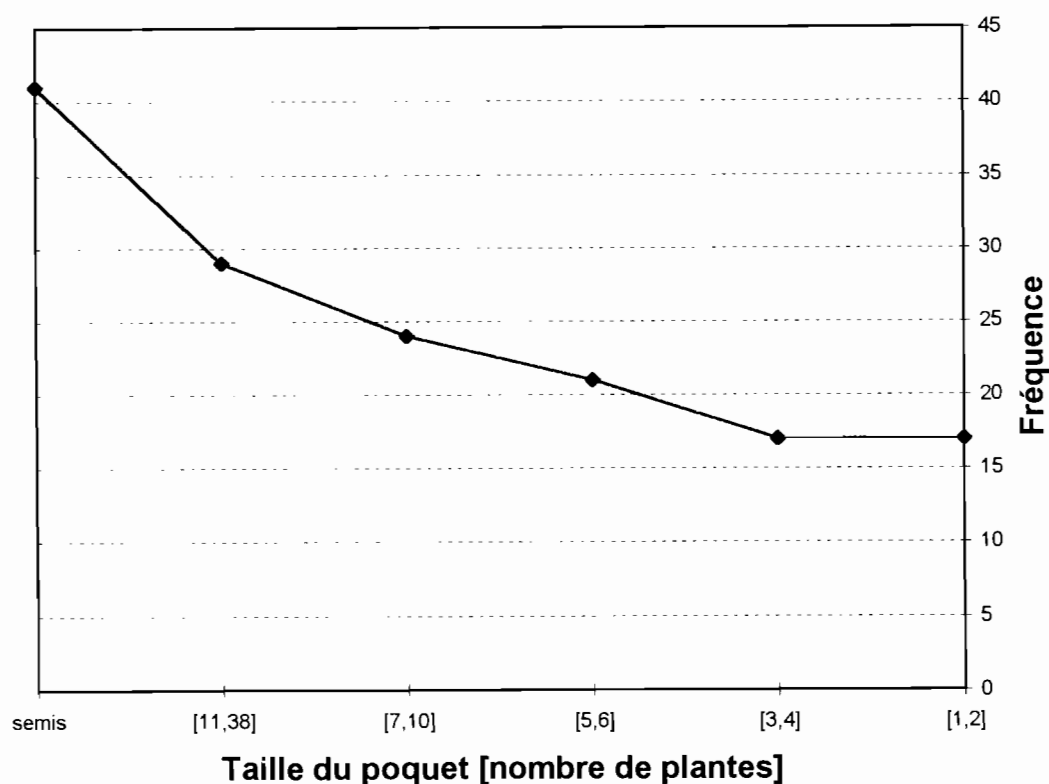
Evolution du taux de survie

Sur 500 poquets semés au champ, seulement la moitié a émergé, l'installation des plantes ayant probablement été perturbée par une absence de pluie observée entre la pré-émergence et l'émergence. Le taux de germination, de 87% en boîte de Pétri, passe à 44% (pré-émergence) dans le champ, ce qui correspond à une moyenne de 22 plantules par poquet. Cette base (22 plantes = 100% de survie) est retenue pour le calcul des taux de survie ultérieurs dans les échantillons aux différents stades culturaux. A l'émergence (23 JAS), le taux de survie est de 36% ; au stade du démariage (36 JAS), il est de 15% dans l'échantillon de poquets non démariables (ND), de 39% avant leur démariage dans l'échantillon de poquets démariés (D), de 54% dans l'échantillon de poquets démariables non démariés (DND). L'écart observé entre les deux derniers taux de survie qui correspondent à une même catégorie d'échantillon (démariables) n'est pas significatif ($P < 5\%$). Trois plantes en moyenne sont maintenues dans les poquets démariés, ce qui correspond à un taux de survie de 13% proche du taux de 15% observé dans l'échantillon de poquets démariés spontanément (ND). De nouveau mesuré à 87 JAS (ND, D, DND) puis à 110 JAS (ND', D'), le taux de survie n'a pas évolué de façon significative à l'intérieur d'une même catégorie de poquets.

Evolution de la fréquence des hybrides « Chibra » F1

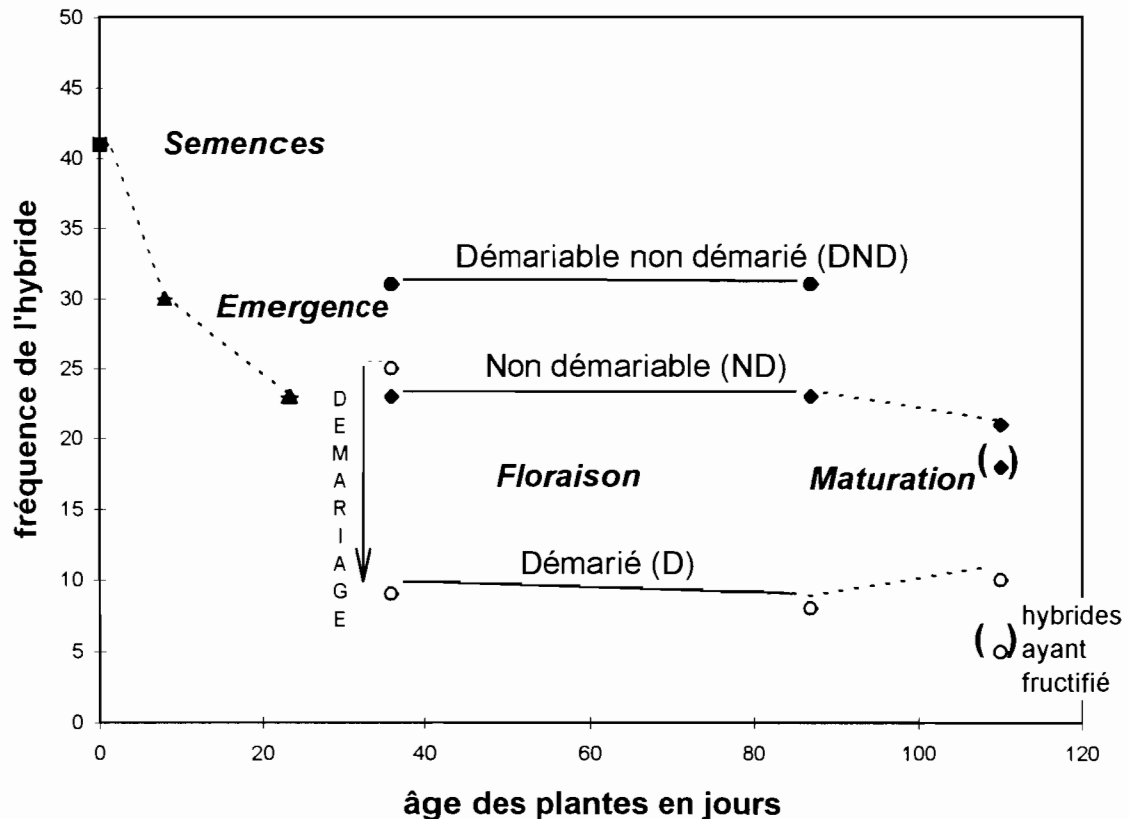
Sans l'intervention humaine du démariage, la fréquence des hybrides chibra observée dans l'ensemble des poquets, toutes catégories d'échantillons confondues, se révèle proportionnelle à la taille de ces poquets, soit au nombre de plantes ayant survécu aux pressions de sélection naturelle (figure 1). En conséquence de ces pressions de sélection naturelle, la fréquence d'hybrides chibra (figure 2), de 41% dans les semences, baisse à 30% dès la pré-émergence (8 JAS) puis à 23% lors de l'émergence (23 JAS). Au stade du démariage (36 JAS), cette fréquence est de 23% dans l'échantillon de poquets démariés spontanément (ND), de 24% avant démariage dans l'échantillon de poquets démariés (D) et de 31% dans les poquets démariables non démariés (DND). Ces trois dernières mesures ne sont pas significativement différentes à $P < 5\%$.

Figure 1 : Fréquence de l'hybride chibra selon la taille des poquets. Le nombre de plantes par poquet est distribué en 5 classes d'effectifs égaux de 40 poquets.



Sous l'effet du démariage, la fréquence d'hybrides chibra chute spectaculairement de 24% avant le démariage, à 9% après le démariage (D). Aucune évolution significative du taux de survie des plantes et donc de la fréquence d'hybrides chibra n'est observée, quels que soient les échantillons, jusqu'à la fin du cycle de culture. Dans l'échantillon de poquets démariés, à la maturation, seulement 5% des plantes ayant produit des graines sont des hybrides. La fréquence d'hybrides est donc passée de 41% dans les semences, à 5% dans l'échantillon de plantes ayant atteint le stade reproducteur, soit une chute globale de 88%.

Figure 2 : Evolution de la fréquence de l'hybride chibra F1 selon l'âge des plantes et les étapes culturales.



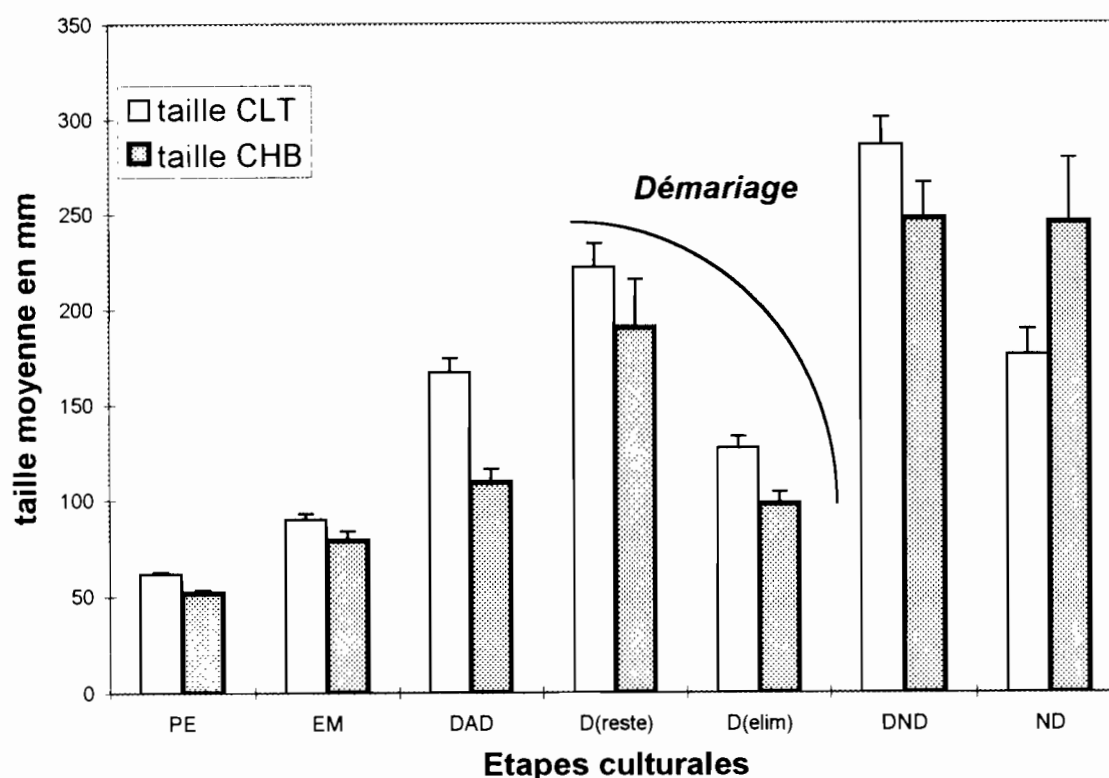
Relation entre taille des plantes et génotype

Au stade de la pré-émergence, les plantules de génotype chibra F1 (*Pgm 100, 104*) se différencient de celles de génotype cultivé (*Pgm 100, 100*) par une taille moyenne significativement plus petite ($P < 5\%$), traduisant une émergence moins rapide liée à une croissance plus faible. Cette différence de taille s'est maintenue jusqu'au stade du démariage pour les poquets démariables (D avant démariage et DND), tandis qu'elle est inversée dans l'échantillon de poquets démariés spontanément (ND). Au démariage, le paysan élimine systématiquement les plantes les plus petites (taille moyenne de 117 mm) pour ne conserver dans le poquet que les 3 à 4 plus grandes plantes (taille moyenne de 219 mm) (figure 3). Par la suite, les différences de taille entre les plantes de génotype hybride et de génotype cultivé s'estompent jusqu'à disparaître à 110 JAS.

DISCUSSION

Les introgressions par des échanges de gènes entre plantes cultivées et leurs apparentées sauvages ont été étudiées dans des groupes taxonomiques très différents tant par leur position phylogénétique, que par leur écologie : *Oryza* (Second, 1982 ; Bezançon, 1994), *Zea* (Doebbley *et al.*, 1987 ; Doebbley, 1990), *Citrullus* (Zamir *et al.*, 1984). Le mil, *Pennisetum glaucum*, est cependant un cas extrême où, sur une vaste aire de répartition, une forme supposée ancestrale et une forme cultivée évoluent en situation coadaptée.

Figure 3 : Taille des plantes cultivées (CLT) et chibra (CHB) selon leur âge et les étapes culturales. PE = pré-émergence ; EM = émergence ; DAD = avant démariage ; D (reste) = plantes maintenues dans le poquet après démariage ; D (elim) = plantes éliminées au démariage ; DND = démariables non démariés ; ND = non démariables.



Par le choix de semences issues de mil cultivé, le semis en poquet et la contre-sélection des plantes les moins vigoureuses lors du démariage, le paysan sahélien s'oppose aux flux de gènes en provenance des populations de mil sauvage et améliore ainsi sa production. Il agit dans le même sens lorsqu'il élimine les adventices par un ou deux sarclages au cours de la culture. Dans nos conditions expérimentales, l'effet moyen de l'action du paysan ne peut cependant pas être généralisé à partir des observations concernant un seul individu en raison de la diversité potentielle des comportements. Il ressort toutefois de cette étude que l'effet conjoint des pratiques très simples que sont le semis en poquet et le démariage limite très efficacement l'introduction de gènes du mil sauvage dans le génome cultivé. Conjuguées aux pressions de sélection naturelle, les pressions anthropiques font chuter le taux d'hybrides chibra de 88% : soit sur la totalité du cycle, un passage de 41% dans les semences à 5% de plantes ayant atteint le stade reproducteur à la maturation. Le semis en poquets a pour effet de mettre les plantules en situation de compétition dès la germination. En raison d'un retard de croissance du génotype chibra comparé au génotype cultivé et, probablement à cause d'un déficit en réserve de l'albumen des graines hybrides (Amoukou et Marchais, 1993), la compétition dans le poquet est en faveur du mil cultivé. Le retard de croissance du mil chibra le désigne au paysan pour être éliminé au moment du démariage. En fin de cycle cultural, au moment du choix des semences pour le prochain cycle, le paysan sélectionnera les épis les plus typés pour maintenir son cultivar. En raison de l'origine cultivée de ces épis et parce que les graines seront en partie le produit d'une reproduction autogame (Sandmeier, 1993), les allèles du mil sauvage seront une fois de plus contre-sélectionnés.

Le démariage spontané empêche l'élimination des plantes par le paysan, donc toute action de sélection sur ces plantes. Dans nos conditions, la fréquence d'hybrides chibra dans les poquets non démariables (ND) se révèle beaucoup plus élevée (23%) qu'après le démariage par le paysan (9%). De plus, à l'inverse des deux autres catégories de poquets (D et DND), les hybrides se montrent plus vigoureux que les génotypes cultivés. Ceci semble être dû à la sélection naturelle d'un nombre limité de plantules (3, en moyenne) dès la pré-émergence, modifiant l'effet de compétition dans le poquet. En conséquence, plus les conditions pédo-climatiques de culture sont difficiles, notamment en raison

d'une pluviométrie déficiente, plus la proportion de poquets démariables par le paysan diminue au profit des poquets démariés spontanément et plus sera élevée la proportion d'hybrides chibra.

En définitive, une proportion non négligeable de chibra, très variable selon les conditions pédo-climatiques et la qualité de l'action menée par le paysan, se maintient d'un cycle cultural à l'autre. Ces hybrides présentent des caractéristiques de dédomestication (graines de petite taille, caducité, dormance) ayant une incidence néfaste sur la production. Néanmoins, ils sont le résultat de flux géniques entre formes sauvages, adaptées à des conditions écologiques extrêmes, et formes cultivées qui permettent des recombinaisons pouvant augmenter la valeur adaptative du mil cultivé. Le maintien d'une proportion optimale de chibra dans le champ pourrait donc être bénéfique au paysan sahélien, face aux aléas.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été réalisés grâce à un financement de la CEE dans le cadre du contrat N° TS3*-CT94-0280 (DG 12 HSMU).

Nous remercions le Dr. A. De Rouw, UR « Bases de la gestion durable des agrosystèmes tropicaux », ORSTOM, Niamey, qui nous a fait bénéficier de son expérience du milieu paysan, ainsi que le Dr. R.D. Stern, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), pour ses conseils en statistique et le Dr. T. Winkel (ORSTOM) pour ses remarques avisées.

BIBLIOGRAPHIE

- Amoukou A.I., Marchais L. 1993. Evidence of a partial reproductive barrier between wild and cultivated pearl millets (*Pennisetum glaucum*). *Euphytica* 67 : 19-26.
- Bezançon G. 1994. Le riz cultivé d'origine africaine *Oryza glaberrima* Steud. et les formes sauvages et adventices apparentées : diversité, relations génétiques et domestication. Thèse de Doctrat d'Etat, TDM n°105, ORSTOM ed., Université Paris XI, Orsay, France.
- Doebley J.F., Goodman M.M., Stuber C.W. 1987. Patterns of isozyme variations between maize and Mexican annual teosinte. *Economic Botany* 41, 234-246.
- Doebley J.F. 1990. Molecular evidence for gene flow among *Zea* species. *BioScience* 40, 443-448.
- Marchais L., Tostain S. 1992. Bimodal phenotypic structure of two wild pearl millet samples collected in agricultural area. *Biodiv. Conserv.* 1 : 170-178.
- Renno J.-F., Winkel T. 1996. Phenology and reproductive effort of cultivated and wild forms of *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. under experimental conditions in the Sahel: implications for the maintenance of polymorphism in the species. *Can. J. Bot.* 74: 959- 964.
- Renno J.-F., Winkel T., Bonnefous F., Bezançon G. 1997. Flux de gènes entre formes domestiquée et sauvage du mil *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. en conditions expérimentales au Sahel. Gestion des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes, rencontre internationale Bamako, (Mali).
- Renno J.-F., Winkel T., Bonnefous F., Bezançon G. (sous presse). Quantitative study of gene flow between wild and cultivated *Pennisetum glaucum* : relation to the phenology of flowering and implications for the germination of the progeny. *Can. J. Bot.*
- Rey-Herme C. 1982. Les relations génétiques entre formes spontanées et cultivées chez le mil (*Pennisetum* sp.). Thèse de 3ème cycle, Université Paris XI, Orsay, France.
- Robert T., Lespinasse R., Pernès J., Sarr A. 1991. Gametophytic competition as influencing gene flow between wild and cultivated forms of pearl millet (*Pennisetum typhoides*). *Genome* 34 : 195-200.
- Sandmeier M. 1993. Selfing rates of pearl millet (*Pennisetum typhoides* Stapf and Hubb.) under natural conditions. *Theor. Appl. Genet.* 86 : 513-517.
- Sarr A., Sandmeier M., Pernès J. 1988. Gametophytic competition in pearl millet *Pennisetum typhoides* (Stapf and Hubb.). *Genome* 30: 924-929.
- Second G. 1982. Origin of the genetic diversity of cultivated rice (*Oryza* spp.): study of the polymorphism scored at 40 isozyme loci. *Japanese Journal of Genetics* 57, 25-57.

- Tostain S. 1993. Evaluation de la diversité des mils pénicillaires diploïdes (*Pennisetum glaucum* (L. R. Br.)) au moyen de marqueurs enzymatiques. Etudes des relations entre formes sauvages et cultivées. Thèse de Doctorat, Université Paris XI, Orsay, France.
- Van der Zon A.P.M. 1992. Graminées du Cameroun. Volume II, Flore. Wageningen Agric. Univ. Papers N° 92-1, Wageningen, Netherlands.
- Zamir D., Navot N., Rudich J. 1984. Enzyme polymorphism in *Citrullus lanatus* and *C. colocynthis* in Israel and Sinai. Plant Syst. Evol. 146 : 163-170.

SESSION 4

CARACTERISATION GENETIQUE DE LA DIVERSITE

STRUCTURE GENETIQUE ET DYNAMIQUE DES VARIETES TRADITIONNELLES DE SORGHO AU BURKINA FASO

Ollitrault P., Noyer J.L., Chantereau J. et Glaszmann J.C.

CIRAD, Montpellier

Les variétés traditionnelles de sorgho cultivées au Burkina Faso sont des populations gérées par les agriculteurs. Elles sont essentiellement de type guinea et durra. Afin de mieux comprendre la dynamique de ces variétés, nous avons utilisé les isozymes pour étudier la structuration de la diversité génétique sur l'ensemble du Burkina Faso et analyser les structures intrapopulation sur quelques variétés de guinea prospectées dans le centre du pays. La structuration globale est liée principalement à la coexistence de trois types de sorghos (guinea, margaritifera et durra) correspondant à trois origines génétiques différentes. Les flux de gènes entre ces trois types morphologiques sont demeurés clairement limités. Aucune structuration géographique nette n'apparaît y compris suivant le gradient pluviométrique nord-sud pourtant très marqué. Le polymorphisme intravariétal est relativement important au sein de la majorité des variétés traditionnelles (29% de la diversité totale). La structuration de ce polymorphisme intravariétal témoigne d'une situation de non équilibre générée entre autres par une allogamie relativement élevée (de l'ordre de 20% pour les guinea analysés) et des pratiques traditionnelles de sélection des semences réduisant considérablement la taille efficace des populations à chaque cycle.

Les simulations simples réalisées avec ce modèle conduisent à identifier les flux polliniques entre populations ainsi qu'une sélection modérée en faveur des hétérozygotes, liée à un hétérosis d'origine diffuse dans le génome, comme des facteurs déterminants de l'équilibre du système.

Mots clés : allogamie, cultivars traditionnels, diversité, flux géniques, isozymes, sorgho

INTRODUCTION

Les variétés traditionnelles de sorgho cultivées au Burkina Faso sont des populations gérées par les agriculteurs. Elles sont essentiellement de types guinea et durra. Ce travail s'est intéressé aux impacts relatifs des pratiques agricoles traditionnelles, du système de reproduction et du contexte pédoclimatique sur la structuration de la diversité génétique des sorghos du Burkina Faso. Il comporte trois volets :

- (i) l'étude de la structuration géographique et phénotypique de la diversité génétique sur l'ensemble du Burkina Faso,
- (ii) l'analyse des structures intrapopulation et des taux d'allogamie sur quelques variétés de guinea prospectées dans le centre du Burkina Faso et
- (iii) la modélisation et la simulation de l'évolution de populations de sorgho gérées selon des pratiques traditionnelles.

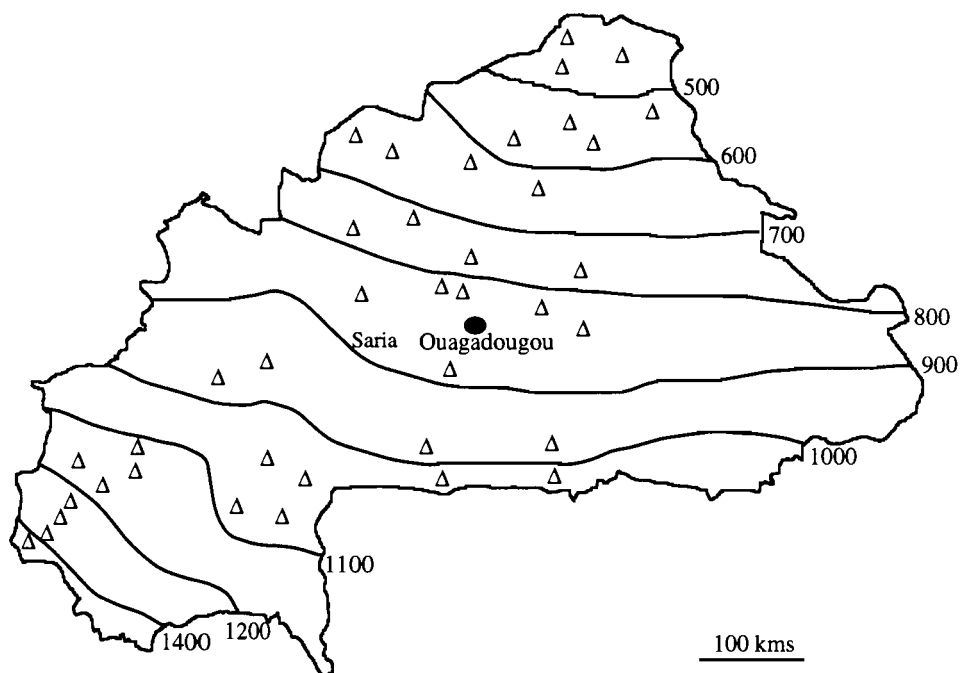
STRUCTURATION DE LA DIVERSITE SUR L'ENSEMBLE DU BURKINA FASO

L'étude de la structuration de la diversité des sorghos sur l'ensemble du Burkina Faso a été menée sur 80 lots de semences issus de prospections ORSTOM/IBPGR (1982 ; Figure 1). Ces lots, correspondant chacun à une population, proviennent soit de vracs de grains déjà battus prélevés en greniers, soit de prospections de panicules entières. L'analyse a porté sur 7 systèmes enzymatiques (Ollitrault *et al.*, 1989a), LAP, GOT, MDH, PGI, Est, Px, PA, permettant d'analyser la diversité pour 17 locus dont 7 se sont avérés monomorphes sur cet échantillon. Les résultats présentés reposent donc sur 10 locus polymorphes qui ont présenté 23 allèles. Au sein d'une population, deux allèles au maximum ont été observés pour un locus donné. Pour chaque lot, l'évaluation des fréquences alléliques repose sur l'étude de quatre mélanges de 5 individus auxquels sont attribuées des notes N_i de 0 à 4 en fonction de l'intensité relative des deux allozymes. Les variétés ont finalement une note $N = \sum_{i=1}^4 N_i$ variant de 0 à 16. L'estimateur des fréquences alléliques est $P_e = N/16$. La qualité de cet

estimateur a été vérifiée par simulation ; l'ajustement linéaire entre les valeurs théoriques et les valeurs estimées est de $r = 0,96$.

La diversité totale (Nei, 1973) est de 0,26 avec une composante intrapopulation de 29%. Quinze pour cent des populations sont totalement fixées tandis que l'ensemble des populations polymorphes présentent une distribution quasi normale de la diversité intrapopulation, centrée sur 0,09. L'ajustement linéaire ($R = 0,997$) entre la diversité intrapopulation à un locus donné et le nombre de populations polymorphes pour ce locus est tout à fait remarquable. Il indique que la dynamique du polymorphisme enzymatique intrapopulation répond au même modèle évolutif et donc aux mêmes contraintes quel que soit le système considéré. L'existence de pressions de sélection différentielles sur les allozymes analysées est donc peu probable, comme le confirme l'absence de cline allélique suivant le gradient de pluviométrie nord-sud pourtant très marqué (400 à 1 400 mm/an en 1981) (Fig. 1).

Figure 1 : Sites des prospections ORSTOM/IBPGR au Burkina Faso, 1982.



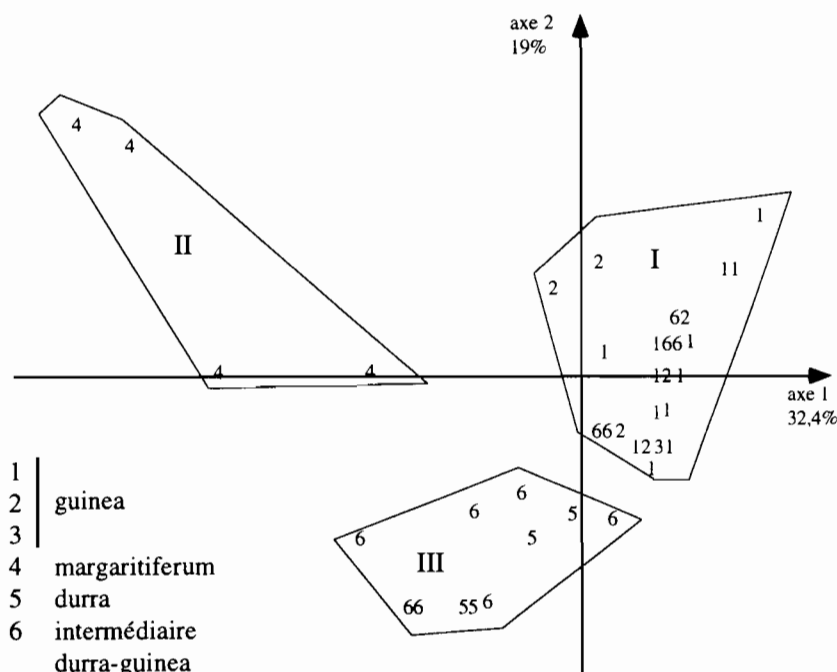
La diversité génétique révélée par le polymorphisme enzymatique a pu être rapprochée de la classification de Harlan et De Wet (1972) pour les échantillons dont on avait les panicules. Elle est structurée autour de trois types morphologiques: « I » guinea roxburgii, gambicum, « II » guinea margaritifera et « III » durra et hybrides de durra (Fig. 2). Les guinea de type I sont de loin les plus nombreux. Ces trois groupes correspondent vraisemblablement à trois fondations différentes. L'Afrique de l'Ouest constitue en effet certainement l'aire de diversification des guinea de type I. Les durra, dont l'aire de diversification est l'Afrique de l'Est, ont été introduits en Afrique de l'Ouest par les musulmans à l'occasion des pèlerinages à la Mecque. Les margaritifera, enfin, présentent un ensemble de caractéristiques enzymatiques et moléculaires particulières qui suggèrent qu'ils sont issus d'une domestication secondaire indépendante de celle des guinea de type I d'Afrique de l'Ouest (Ollitrault *et al*, 1989b ; Deu *et al*, 1994; 1995). Cette structuration forte entre types morphologiques cultivés en sympatrie montre que les flux de gènes entre ces types sont restés limités.

STRUCTURES INTRAPOPULATIONS

Six variétés/populations de type guinea cultivées à Saria dans le centre du Burkina Faso ont été étudiées. Pour chacune d'entre elles, 200 graines ont été prélevées (1 graine par panicule) sur l'ensemble de la parcelle tandis que plusieurs panicules entières étaient récoltées pour évaluer les taux d'allofécondation. La méthode d'évaluation des taux d'allogamie est celle du χ^2 minimum sur la

base de l'estimation des fréquences alléliques du pool pollinique (sur vrac de semence) et de la structure génotypique de la descendance de chaque panicule. L'analyse a finalement porté sur 50 à 60 graines provenant de chaque vrac et sur 40 à 80 graines par panicule. Les deux systèmes enzymatiques ayant présenté la plus forte diversité intrapopulation dans le cadre de l'étude globale précédente ont été retenus : Px et Est.

Figure 2 : Localisation de 47 variétés traditionnelles issues des prospections ORSTOM au Burkina Faso (1982) et appartenant sans ambiguïté aux groupes morphologiques définis par Harlan et De Wet (1972). Plan 1-2 d'une analyse factorielle des correspondances sur les données isoenzymatiques.



Ces systèmes révèlent du polymorphisme dans les populations de Saria pour 3 locus. Une population était totalement fixée pour les 3 locus. Les autres ont permis d'évaluer les écarts à la panmixie sur la population de semences (Tab. 1) et les taux d'allogamie (Tab. 2). Les taux d'allogamie estimés varient de 3 à 31% avec des valeurs relativement homogènes pour les panicules d'une même variété. Cette allogamie limitée entraîne des écarts à la panmixie dans la plupart des cas.

Tableau 1 : Fréquences génotypiques (x/x) et écart à la panmixie (F).

Locus	Génotype (et coefficient F)	Populations				
		1	2	3	4	5
Px3	2/2	95	76	18	64	98
	2/4	2	18	12	8	2
	4/4	3	6	70	28	-
	F	0,65	0,29	0,67	0,82	0,01
Est1	1/1	3	-	92	18	75
	1/2	-	-	22	12	17
	2/2	97	100	16	70	8
	F	1	-	0,44	0,67	0,40
Est3	1/1	37	20	8	38	13
	1/2	11	16	6	14	4
	2/2	52	64	86	48	83
	F	0,80	0,60	0,69	0,72	0,83

Tableau 2 : Exemples d'estimations des taux d'allogamie pour différentes plantes des populations 1, 2, 3 et 4.

Eléments de l'estimation	Populations			
	1	2	3	4
Locus	Est3	Px3	Est1	Est1
Effectif génotypique de la descendance	1/1=0	2/2=23	1/1=38	1/1=9
	1/2=4	2/3=42	1/2=2	1/2=21
	2/2=36	3/3=15	2/2=0	2/2=10
Génotype maternel	2/2	2/3	1/1	1/2
Taux d'allogamie	0,20	0,30	0,19	0,10
Locus	Est3	Est3	Px3	Px3
Effectif génotypique de la descendance	1/1=35	1/1=0	2/2=33	2/2=0
	1/2=5	1/2=7	2/3=7	2/3=2
	2/2=0	2/2=73	3/3=0	3/3=38
Génotype maternel	1/1	2/2	1/1	3/3
Taux d'allogamie	0,22	0,31	0,23	0,07
Locus		Px3	Px3	Est1
Effectif génotypique de la descendance	-	2/2=0	2/2=34	1/1=39
	-	2/3=8	2/3=6	1/2=1
	-	3/3=32	3/3=0	2/2=0
Génotype maternel		3/3	2/2	1/1
Taux d'allogamie	-	0,24	0,20	0,03

Les déséquilibres gamétiques intrapopulations ont été analysés pour trois populations. Ils sont significatifs pour la moitié des couples de locus testés, correspondant pour l'essentiel à des couples de locus indépendants. De tels déséquilibres pourraient être entretenus par des flux polliniques réguliers entre races différenciées, mais nous avons vu plus haut que ces flux semblaient limités. L'origine de ces déséquilibres est à rechercher dans les phénomènes de dérive qui caractérisent l'évolution des polymorphismes au sein des cultivars.

SIMULATION DE LA DYNAMIQUE DES VARIETES TRADITIONNELLES DE SORGHO GUINEA

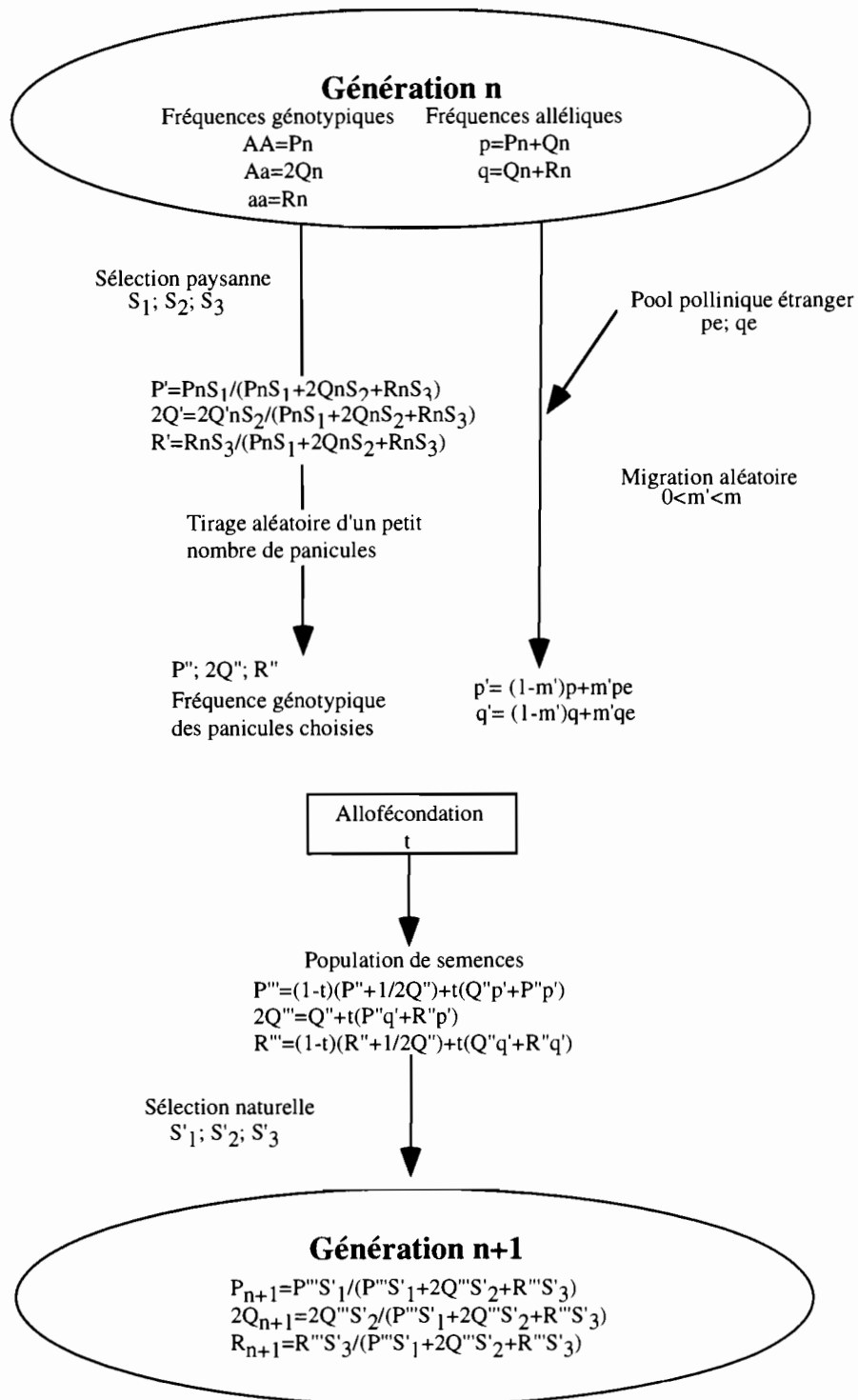
Les populations de sorghos traditionnels du Burkina Faso présentent une diversité intrapopulation relativement élevée qui, en première analyse, semble correspondre au niveau de chaque variété à des situations de non équilibre. Afin d'apporter une vision dynamique en appui à cette description instantanée, nous avons modélisé l'évolution des variétés traditionnelles et tenté d'identifier les paramètres permettant le meilleur ajustement entre les structures des populations observées et simulées. Le modèle de passage entre deux générations est donné dans la figure 3. Quelques résultats de simulations sont décrits ci-dessous.

Dans la région de Saria, où ont été réalisées les prospections destinées à l'analyse fine des structures intrapopulation, la multiplication est assurée, d'un cycle de production à l'autre, par un vrac de semences issues d'une dizaine de belles panicules sélectionnées par le paysan. C'est cet effectif qui a été retenu pour les simulations. Le taux d'allogamie a, pour sa part, été fixé à 0,20 compte tenu de nos évaluations. Avec un tel modèle, en l'absence de sélection et de migration, la taille efficace de la population est très réduite ; les variances inter générations (n à $n+1$) des fréquences alléliques A sont élevées :

$$\text{Var}A_{n+1} = A_n(1 - A_n)(1 + F)(1 - t + 0,25t^2)/2p = 0.042A_n(1 - A_n)(1 + F),$$

où F est l'écart à la panmixie, t le taux d'allofécondation et p le nombre de panicules sélectionnées. Les dérives aléatoires conduisent ainsi rapidement à la fixation d'un allèle.

Figure 3 : Modèle de passage entre deux générations, pour un locus à 2 allèles A et a.



L'introduction dans le modèle d'une migration d'un taux maximum « m » à chaque génération permet de générer des phases de polymorphisme transitoire dont la fréquence et la durée apparaissent liées au taux de migration et à la diversité 'd' du pool pollinique étranger (figure 4). Les fréquences alléliques sont alors très instables d'une génération à l'autre.

Figure 4 : Simulation selon le modèle décrit en figure 3. Evolution sur 500 générations des fréquences alléliques (Fa ; un seul allèle représenté) et des indices de diversité de Nei (D) au niveau d'un locus diallélique en l'absence de sélection ($S_1 = S_2 = S_3$; $S'_1 = S'_2 = S'_3$). d représente la diversité de Nei qui caractérise le pool pollinique et la population de départ.

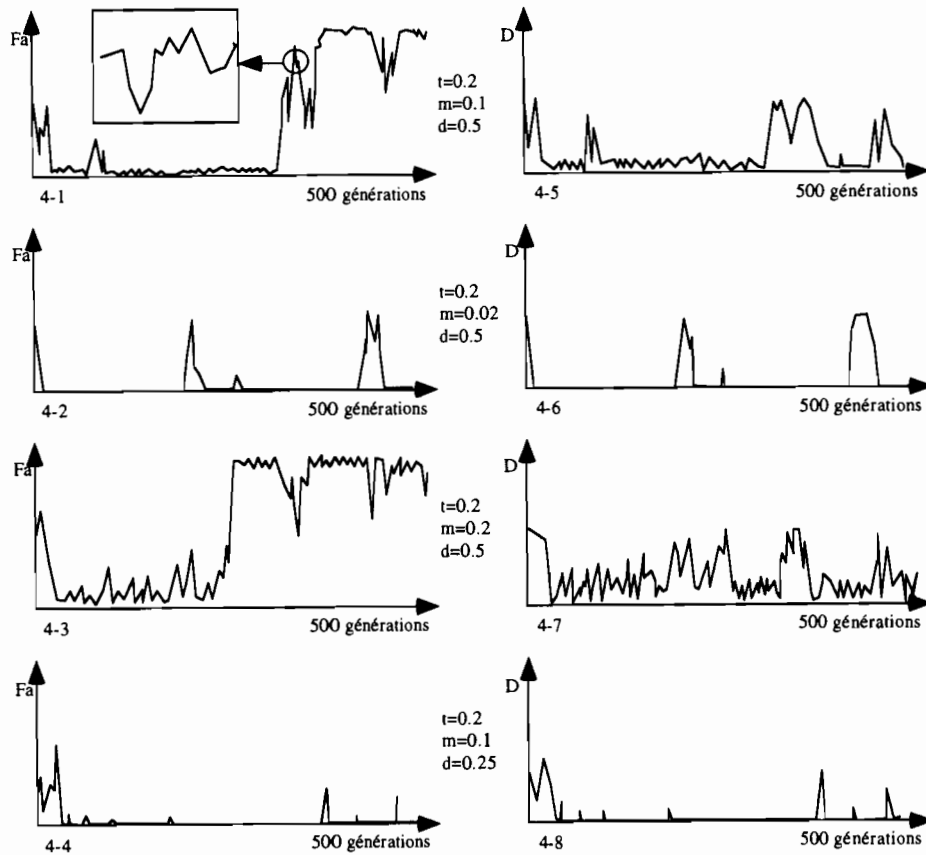


Figure 5 : Simulation selon le modèle décrit en figure 3. Evolution sur 50 générations des déséquilibres gamétiques (d) et des fréquences alléliques au niveau de deux locus dialléliques A et B présentant un taux de recombinaison r au sein d'une population isolée.

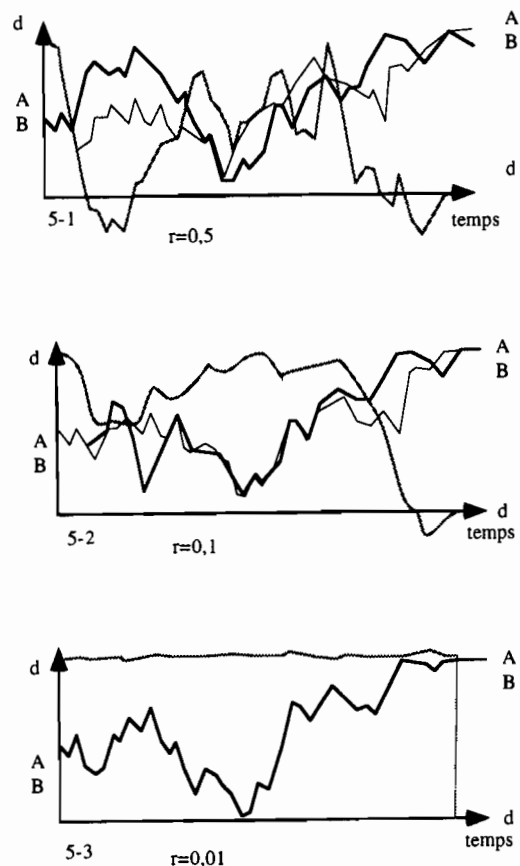
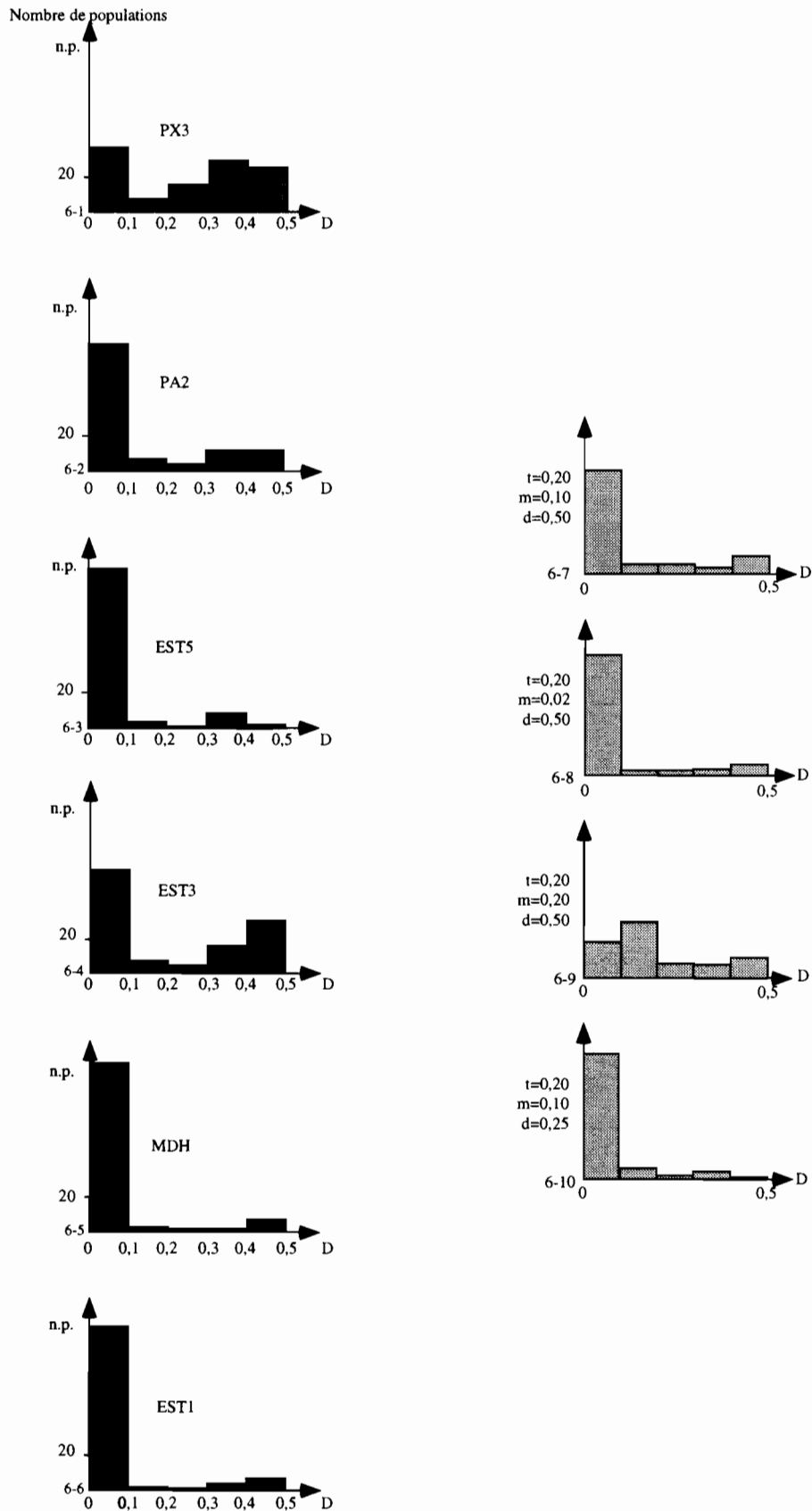


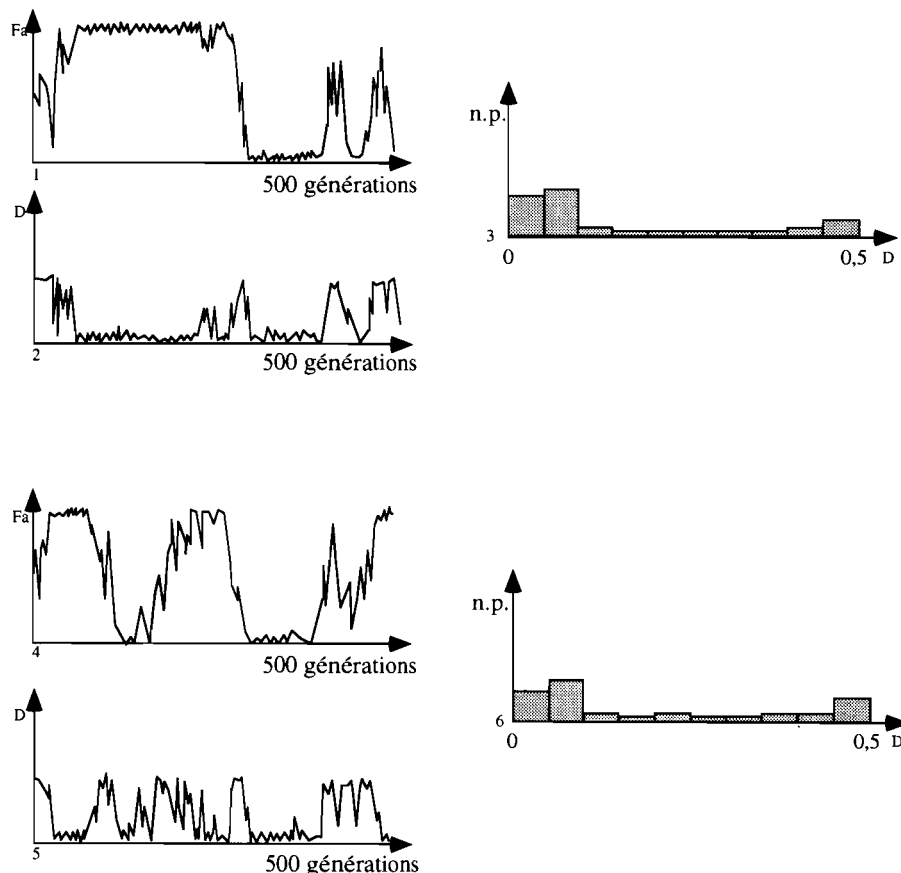
Figure 6 : Histogrammes de diversité intrapopulation observés pour les six locus testés (6-1 à 6-6) ou résultant des simulations décrites en figure 4, selon un modèle sans sélection (6-7 à 6-10).



L'évolution des déséquilibres gamétiques a été simulée selon le même modèle en l'absence de migration et de sélection afin d'examiner le retour à un équilibre durant les phases de polymorphisme transitoire. Entre des locus indépendants, les déséquilibres sont logiquement moins stables qu'entre des locus liés mais leur diminution est accompagnée de variations de forte amplitude pendant plusieurs dizaines de générations (figure 5). Ainsi, la majorité des déséquilibres observés sur les populations de Saria sont sans doute attribuables au goulot d'étranglement (effet fondation) que constitue à chaque génération le choix d'un effectif très restreint de panicules pour la constitution des semences. Ces déséquilibres instantanés répondraient donc à une dynamique évolutive totalement différente de celle généralement mise en avant pour les population d'autogames (limitation de la recombinaison associée à l'autogamie ; Brown, 1978 ; Allard, 1975).

Le modèle précédent sans sélection décrit bien les situations de non équilibre observées sur les populations de Saria. En revanche, il ne saurait expliquer les distributions de diversité intrapopulation observées sur l'ensemble du Burkina Faso. La prise en compte d'une sélection modérée en faveur des hétérozygotes (paysanne ou naturelle) permet de mieux ajuster les distributions des diversités simulées et observées pour un locus (figures 6 et 7). La sélection en faveur des hétérozygotes prolonge en effet les phases de diversité transitoire dans un système qui reste toujours très instable d'une génération à l'autre. Cette sélection correspond à un choix par les agriculteurs de plantes hétérotiques pour constituer la génération suivante, l'hétérozygote au niveau des gènes sièges de l'effet d'hétérosis s'accompagnant d'une hétérozygote significative au niveau de marqueurs liés et en déséquilibre gamétique.

Figure 7 : Simulation selon le modèle décrit en figure 3 (voir aussi légendes des figures 4 et 6). Evolution sur 500 générations d'un locus diallélique dans une population. Modèle avec sélection sur les hétérozygotes (coefficients de sélection = 1,2) avec un taux d'allofécondation de 0,2, un taux de migration de 0,1 et des fréquences alléliques initiales de 0,5. 1 à 3 : sélection naturelle. 4 à 6 : sélection paysanne.



La prise en compte d'une sélection allélique, telle qu'elle peut s'appliquer sur les caractères phénotypiques, ou d'une migration systématiquement orientée en faveur d'un allèle entraîne classiquement une dérive orientée et une perte de diversité de la population pour le locus considéré.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La structuration globale du polymorphisme génétique des variétés traditionnelles de sorgho du Burkina Faso est liée principalement à la coexistence de trois types de sorghos (guinea, margaritifera et durra) correspondant à trois origines génétiques différentes. Les flux de gènes entre ces trois types morphologiques sont demeurés limités.

Le polymorphisme intravariétal est relativement important au sein de la majorité des variétés traditionnelles (29% de la diversité totale). La structuration de ce polymorphisme intravariétal témoigne d'une situation de non équilibre générée entre autres par une allogamie relativement élevée (de l'ordre de 20% pour les guinea analysés) et par des pratiques traditionnelles de multiplication réduisant considérablement la taille efficace des populations à chaque cycle. Comme le montrent les simulations réalisées avec ce modèle, en l'absence de sélection, la variance des fréquences alléliques entre deux générations est très élevée et conduit rapidement à la fixation d'un allèle. Seule la migration intercultivar peut réinitier des phases de polymorphisme qui sont toutefois très transitoires et ne sauraient expliquer les structures du polymorphisme intravariétal observées sur l'ensemble du Burkina Faso. La prise en compte d'une sélection modérée en faveur des hétérozygotes, liée à un hétérosis non spécifique d'un locus donné et affectant l'ensemble du génome, permet en revanche un bon ajustement des données observées et simulées.

Selon ce modèle, la diversité intrapopulation est alimentée par les migrations alléliques entre cultivars ; elle peut donc explorer l'ensemble du domaine de diversité défini par les allèles du pool pollinique. Elle évolue ensuite sous l'action de facteurs affectant globalement la structure du génome tels que la vigueur hybride et la faible taille efficace de la population, déterminées par l'allogamie partielle et par les pratiques traditionnelles de multiplication. Un tel modèle conduit à une très grande instabilité des fréquences alléliques et génotypiques monolocus ainsi que des déséquilibres gamétiques entre gènes peu liés. Les variétés traditionnelles de sorgho guinea ne sauraient donc être caractérisées par leurs fréquences alléliques pour les locus codant pour les isozymes. Cette instabilité est, en revanche, beaucoup moins marquée pour les complexes de caractères définissant les types variétaux et donc soumis aux pressions de sélection paysanne. Le polymorphisme génétique maintenu par ce modèle traditionnel de gestion de la diversité génétique permet sans doute d'assurer une meilleure homéostasie ainsi que des potentialités évolutives importantes dans une région caractérisée par une diversité et une instabilité climatique fortes.

Les premiers éléments apportés par notre étude doivent être testés plus finement et confrontés à d'autres hypothèses. Par exemple, qu'elles seraient les conséquences d'une hétérogénéité dans le temps ou dans l'espace du taux d'allogamie des cultivars sur la dynamique globale du système simulé ? Comment le système évoluerait-il en cas de sélection de semences issues de panicules représentatives d'une diversité phénotypique (morphologie, durée du cycle,...) ? La disponibilité récente de marqueurs microsatellites, très polymorphes, permettra d'entreprendre des études plus fines des situations réelles qui étaient impossibles avec les seules isozymes.

La compréhension de la dynamique des cultivars traditionnels est nécessaire pour la mise en œuvre de méthodologies de conservation *in situ* ouvertes au progrès génétique et pour l'adaptation des stratégies de diffusion de ce progrès génétique. Le système constitué par les cultivars traditionnels pourrait toutefois être fortement perturbé par l'introduction d'une culture répétée de lignées fixées issues des programmes de sélection, susceptible d'entraîner une dérive rapide par le biais d'une migration allélique orientée. Ce système serait cependant apte à assimiler des gènes favorables nouveaux (issus de ressources génétiques allopatriques) sans perturbation de la diversité globale, pour autant que ceux-ci soient d'abord transférés par introgression dans des formules génotypiques empruntées au système traditionnel.

BIBLIOGRAPHIE

- Allard R.W., 1975. The mating system and microevolution. *Genetics*, 79 : 115-126.
- Brown A.H.D., 1978. Isozymes, plant population genetic structure and genetic conservation. *Theor. Appl. Genet.* 52 : 145-157.
- Deu M., Gonzalez De Leon D., Glaszmann J.C., Dégremont I., Chantereau J., Lanaud C., Hamon P., 1994. RFLP diversity in cultivated sorghum in relation to racial differentiation. *Theor. Appl. Genet.* 88 : 838-844.
- Deu M., Hamon P., Chantereau J., Dufour P., D'Hont A., Lanaud C., 1995. Mitochondrial DNA diversity in wild and cultivated sorghum. *Genome*. 38 : 635-645.
- Harlan J.R., De Wet J.M.J., 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop. Sci.*, 12 : 172-176.
- Nei M., 1973. Analysis of gene diversity in subdivided population. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 70 : 3321-3323.
- Ollitrault P., Escoute J., Noyer J.L., 1989a. Polymorphisme enzymatique des sorghos. I. Description de 11 systèmes enzymatiques ; déterminisme et liaisons génétiques. *L'Agron. Trop.* 44(3) : 203-210.
- Ollitrault P., Arnaud M., Chantereau J., 1989b. Polymorphisme enzymatique des sorghos. II. Organisation génétique et évolutive des sorghos cultivés. *L'Agron. Tro.* 44(3) : 211-222.
- ORSTOM, 1982. Prospections des mils pénicillaires, sorghos et graminées mineures en Afrique de l'Ouest. République de Haute-Volta, campagne 1981. Paris, ORSTOM. 16p.

ORGANISATION GENETIQUE DES SORGHOS CULTIVES UNE STRUCTURATION PANAFRICAINE DE LA DIVERSITE

*Chantereau J. *, Deu M. **, Hamon P. **, Ollitrault P. ****

** Programme sorgho conjoint CIRAD/ICRISAT, Bamako, Mali*

*** CIRAD, Montpellier, France*

**** CIRAD, Jarry, Guadeloupe*

RESUME

Différentes études du polymorphisme de marqueurs enzymatiques et de marqueurs moléculaires RFLP ont été réalisées sur le sorgho ces dernières années. Leurs résultats ont été globalement cohérents. La diversité génétique des sorghos cultivés, sans les guinea margaritifera, témoigne de leur origine monophylétique et africaine avec une domestication initiale sans doute faite en Afrique du Nord-Est et du Centre. Cette diversité présente une structuration géographique avec la reconnaissance de trois pôles de différenciation secondaire des sorghos cultivés : un pôle ouest-africain, un pôle centre et est-africain et un pôle sud-africain. Elle fait également valoir un second niveau de structuration de nature raciale. Ainsi, les cultivars de la race kafir présentent une grande homogénéité qui rend compte d'une origine récente et sud-africaine. Les sorghos de la race guinea se singularisent en se scindant en trois groupes distincts : le groupe des guinea ouest-africains, le groupe des guinea sud-africains et le groupe des guinea margaritifera. Les deux premiers groupes de guinea paraissent résulter de sélections racialement convergentes conduites indépendamment dans deux régions africaines éloignées à partir de fonds génétiques différents. Le groupe des margaritifera apparaît, lui, très différencié morphologiquement et génétiquement. Il est difficile, à l'heure actuelle, d'en élucider l'origine géographique et les raisons de sa singularité. Parmi les races de sorghos cultivées, seule celle des bicolor est génétiquement hétérogène. Cette particularité associée à des caractères morphologiques primitifs valide l'idée que la race bicolor est la plus ancienne des races cultivées de sorgho. L'ensemble des résultats concernant la structuration génétique des sorghos cultivés permet de mieux préserver et exploiter leur diversité.

Mots clés : *Sorghum bicolor* (L.) Moench, classification, diversité génétique, marqueurs enzymatiques, marqueurs moléculaires

INTRODUCTION

Le sorgho a été domestiqué en Afrique (Doggett, 1976 ; Harlan, 1987 ; Ollitrault *et al.*, 1989). Sa production mondiale est d'environ 70 millions de tonnes produites sur près de 50 millions d'hectares. Seuls le riz, le blé, le maïs et la pomme de terre le surpassent dans l'alimentation humaine. C'est la principale contribution africaine à l'alimentation mondiale (Board on Science and Technology for International Development, 1996).

Le sorgho est une céréale proche du maïs et de la canne à sucre avec qui il constitue une même sous-famille : celle des panicoidées. Par rapport aux deux autres plantes, il présente une grande diversité de types morphologiques et culturaux avec des utilisations très variées. Le sorgho pousse aussi bien dans les pays tropicaux que tempérés. En zone tropicale, les grains de sorghos servent à l'alimentation humaine en étant consommés soit entiers, soit sous forme de bouillie ou galette après avoir été transformés en farine. Certains types de sorghos plus spécialisés servent à faire de la bière, à produire des grains sucrés ou du pop-corn.

En zone tempérée, le sorgho sert surtout à l'alimentation animale. Par ailleurs, la panicule peut être utilisée pour la confection de balai. La tige peut être exploitée sous forme de fourrage, de combustible ou de matériau de construction. Elle peut également servir à la teinture des cuirs et à la fabrication de papier. La moelle peut donner du sucre, du sirop, des colles, du carburant, etc... Enfin le sorgho est une plante très rustique qui s'adapte à des environnements difficiles impropres à beaucoup d'autres cultures. Ainsi, il peut supporter les sols pauvres, la sécheresse, les températures élevées et même l'inondation.

Toute cette diversité constitue paradoxalement un handicap car elle donne du sorgho l'image d'une céréale à la vocation peu précise et inféodée aux agricultures peu intensives. En revanche, elle lui assure

des potentialités riches d'avenir. Dès maintenant, le sorgho peut tirer profit d'une meilleure connaissance de son organisation génétique obtenue ces dernières années par le recours aux marqueurs enzymatiques et moléculaires. Les derniers acquis dans ce domaine sont présentés ici non sans rappeler préalablement un certain nombre de données cyto-taxonomiques concernant l'espèce *Sorghum bicolor*.

ORGANISATION CYTO-TAXONOMIQUES DU GENRE *SORGHUM*

Suite aux travaux taxonomiques des années 60-70 (De Wet, 1978 ; De Wet et Huckabay, 1967 ; De Wet *et al.* 1970 ; De Wet et Harlan, 1971 ; Harlan et De Wet, 1972 ; Doggett, 1988), on s'accorde pour reconnaître 3 espèces dans le genre *Sorghum*. Elles ont pour nombre chromosomique de base $n = 10$. Deux espèces sont diploïdes :

- *Sorghum bicolor* ($n = 10$) qui donne des plantes annuelles connues au début des temps historiques en Afrique, au Moyen Orient et en Inde et qui comprend tous les sorghos cultivés pour le grain.
- *Sorghum propinquum* ($n = 10$) qui est un sorgho sauvage, vivace, rhizomateux se croisant sans difficulté avec le sorgho cultivé. C'est son isolement géographique vis à vis de *Sorghum bicolor* qui a amené sa distinction : *Sorghum propinquum* est présent en Asie du Sud-Est.

Une troisième espèce est tétraploïde : *Sorghum halepense* ($n = 20$) qui est également un sorgho sauvage, vivace, rhizomateux. Il est caractérisé par un fort tallage, des tiges minces, des feuilles étroites, de petits grains. Certains *Sorghum halepense* sont utilisés comme sorgho fourrager sous le nom de Johnson grass. Il est spontanément rencontré en Asie du Sud-Est, en Inde, au Moyen-Orient, et sur le pourtour de la Méditerranée.

Tableau I : Classification simplifiée du genre *Sorghum*.

Espèces	Sous-sections	Races
<i>S. halepense</i> ($n = 20$) <i>S. propinquum</i> ($n = 10$) <i>S. bicolor</i> ($n = 10$) ----->	<i>S. b. arundinaceum</i> ($n = 10$) -----> <i>S. b. drummondii</i> ($n = 10$) <i>S. b. bicolor</i> ($n = 10$) ----->	aethiopicum arundinaceum verticilliflorum virgatum bicolor guinea caudatum durra kafir

A l'intérieur de l'espèce *Sorghum bicolor*, on distingue 3 sous-sections :

- *Sorghum bicolor* sous-section *arundinaceum* qui comprend les sorghos sauvages, annuels, non rhizomateux à même nombre chromosomique que le sorgho cultivé avec lequel il se croise sans difficulté. Quatre races y sont reconnues : aethiopicum, arundinaceum, verticilliflorum et virgatum.
- *Sorghum bicolor* sous-section *bicolor* qui regroupe les sorghos cultivés pour le grain.
- *Sorghum bicolor* sous section *drumondii* qui regroupe les produits des croisements entre les sorghos des deux précédentes sous-sections. On y trouve, sous le nom de Sudan grass, beaucoup des sorghos fourragers cultivés dans le monde.

Enfin à l'intérieur des *Sorghum bicolor* sous-section *bicolor*, on différencie cinq races de base sur des critères de formes d'épillet et de panicule : bicolor, guinea, caudatum, durra et kafir. Le tableau I reprend ces différents taxons.

La **Figure 1** insère les différents éléments de cette classification dans la composition des pools génétiques du genre *Sorghum*.



ORGANISATION DE LA DIVERSITE GENETIQUE DES SORGHOS CULTIVES

Données de l'analyse enzymatique

L'analyse du polymorphisme enzymatique des sorghos cultivés et sauvages a été l'objet de travaux importants aux Etats-Unis et en France depuis une dizaine d'années (Morden *et al.*, 1989 ; Morden *et al.*, 1990 ; Ollitrault *et al.*, 1989 ; Aldrich *et al.*, 1992).

Ces différentes études ont mis en évidence que la diversité des sorghos cultivés était inférieure à celle des sorghos sauvages. Parmi les sorghos sauvages, ce sont ceux d'Afrique du Nord-Est et du Centre qui sont apparus les plus proches des sorghos cultivés. Les études ont aussi montré que la diversité des cultivars africains englobait celle des autres sorghos cultivés dans le monde.

Pour ce qui est de la structure de la diversité isoenzymatique des sorghos cultivés, il a été observé qu'elle était influencée par l'origine géographique des écotypes analysés. Dans leur analyse du polymorphisme enzymatique de 348 cultivars traditionnels, Ollitrault *et al.* (1989) ont ainsi distingué trois pôles de différenciation : un pôle ouest-africain, un pôle est et centre-africain, un pôle sud-africain. Les écotypes guinea ont été rattachés enzymatiquement à deux pôles différents : le pôle ouest-africain et le pôle sud-

africain. En conséquence, la race guinea aurait été obtenue indépendamment dans ces deux zones géographiques à partir de fonds génétiques différents.

Une analyse plus approfondie de la diversité enzymatique des écotypes de race guinea a été faite par Dégremont (1992). Elle a confirmé l'identité de ces deux groupes et a reconnu un troisième ensemble : celui des margaritifera qui sont des guinea à petits grains très vitreux présents en Afrique de l'Ouest notamment au Mali où on les appelle kende. Dans toutes ces études de diversité enzymatique, les margaritifera n'ont pas pu être rattachés à une origine géographique précise.

Enfin, les cultivars de la race kafir ont toujours présentés une faible diversité isoenzymatique associée au pôle sud-africain. Ce résultat a été en accord avec l'idée d'une origine des kafir récente et géographiquement située dans le sud de l'Afrique (Harlan et De Wet, 1972).

Données de l'analyse de marqueurs moléculaires RFLP

Très récemment, les études de diversité génétique des sorghos ont pu exploiter un nouveau type de marqueurs : les marqueurs moléculaires RFLP à partir d'ADN nucléaire, mitochondrial ou chloroplastique (Aldrich et Doebley, 1992 ; Tao *et al.*, 1993 ; Deu *et al.*, 1994 ; Deu *et al.*, 1995).

Les travaux de Aldrich et Doebley (1992) ont conclu que le pool de sorghos sauvages le plus proche des sorghos cultivés était situé en Afrique orientale et centrale et qu'il était constitué de *Sorgho bicolor* ssp. *arundinaceum*.

L'analyse par Deu *et al.* (1994) du génome nucléaire de 94 écotypes locaux à l'aide des RFLP a mis en évidence un fort polymorphisme (déjà observé par Aldrich et Doebley, 1992). En liaison avec la densité du marquage, une structuration raciale de la diversité génétique a été révélée. A l'exception des individus de la race bicolor qui présentaient le plus de polymorphisme et qui ne constituaient pas un ensemble homogène, les sorghos cultivés ont été répartis sur une base raciale en 6 groupes. La subdivision de la race guinea en trois groupes a été validée (Afrique de l'Ouest, Afrique australe et guinea margaritifera) ; les représentants des races caudatum, kafir et durra ont formé respectivement les trois autres groupes. Les guinea margaritifera sont apparus les plus différenciés des sorghos cultivés. Les accessions de la race kafir ont confirmé leur faible diversité génétique observée antérieurement avec les marqueurs enzymatiques.

Le dernière étude de Deu *et al.* (1995) a repris la plupart des sorghos de l'étude précédente complétée par des écotypes guinea et des sorghos sauvages. L'analyse de diversité a porté cette fois sur des marqueurs RFLP mitochondriaux. La plupart des sorghos cultivés (bicolor, caudatum, durra, kafir et guinea non margaritifera) ont révélé un « background » mitochondrial commun. Ce résultat est compatible avec l'idée d'une origine ancienne commune de ces sorghos cultivés, diversifiés ensuite racialement dans des zones géographiques différentes. L'originalité génétique des guinea margaritifera a été confirmée par leur regroupement en deux ensembles particuliers dont l'un a inclus des sorghos sauvages d'Afrique australe. La diversité des sorghos cultivés a été comprise dans celle des sorghos sauvages à l'exception du second groupe de guinea margaritifera. Aucune association préférentielle entre race sauvage et race cultivée n'a été observée dans cette étude.

CONCLUSION

Les résultats des analyses du polymorphisme enzymatique et des marqueurs RFLP chez les sorghos cultivés sont globalement convergents. Exception faite du cas des guinea margaritifera, la structuration génétique des sorghos cultivés valide l'hypothèse de leur origine monophylétique et africaine : leur domestication a sans doute été réalisée en Afrique du Nord-Est et du Centre (Soudan ?) à partir de sorghos sauvages diploïdes locaux. Elle aurait donné des sorghos cultivés primitifs fondateurs de la race bicolor morphologiquement peu évoluée et sans identité génétique propre en raison d'un fort polymorphisme. Après s'être répandus dans l'ensemble de l'Afrique, ces sorghos primitifs auraient servi à la domestication des autres races à partir de 3 pôles géographiques différents, pôles relativement isolés et introgressés par les sorghos sauvages locaux : un pôle ouest-africain, un pôle centre et est-africain et un pôle sud-africain.

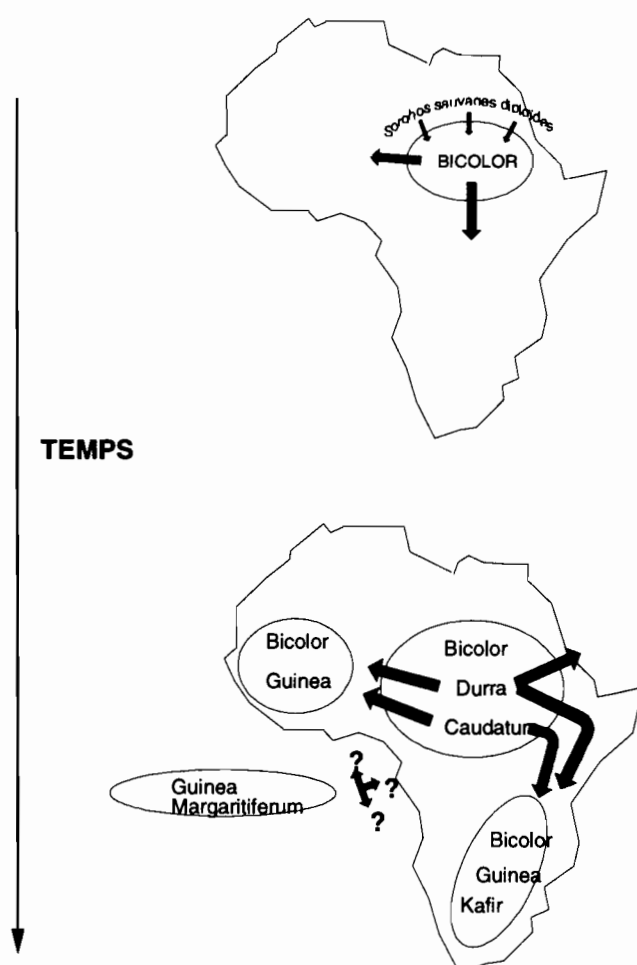
La différenciation génétique des sorghos cultivés n'est pas uniquement liée à des facteurs géographiques. Elle fait valoir également des aspects raciaux.

Ainsi, les données enzymatiques et celles de marqueurs nucléaires RFLP regroupent les sorghos guinea autres que margaritifera en deux ensemble l'un apparenté au pôle ouest-africain, l'autre au pôle sud-africain. Ces sorghos guinea auraient été l'objet de sélections convergentes. Pour satisfaire des besoins culturels similaires, les paysans auraient obtenu indépendamment en Afrique de l'Ouest et en Afrique australe le même type de sorgho phénotypiquement guinea, cela à partir de fonds génétiques différenciés par la distance géographique.

Les sorghos caudatum et durra auraient été développés en Afrique centrale et orientale où ils sont toujours prépondérants. Leur structuration génétique spécifique transparaît encore avec les marqueurs nucléaires RFLP. Leur identité génétique est moins nette avec les marqueurs enzymatiques. Elle est sans doute brouillée par le fait qu'après leur obtention les deux races auraient largement diffusées dans toute l'Afrique et en Asie en subissant des influences génétiques de sorghos locaux différents de leur zone d'origine.

Les sorghos kafir forment un groupe homogène avec une très faible diversité génétique. Ils constitueraient la race la plus récente des sorghos cultivés avec une origine en Afrique australe. Le temps a insuffisamment joué pour leur assurer une large diffusion spatiale et une importante évolution génétique. La figure 2 reprend schématiquement les étapes de la mise en place de la structuration génétique des sorghos cultivés telle que l'on peut l'établir actuellement.

Figure 2 : Eléments historiques et géographiques de la structuration génétique des sorghos cultivés.



Reste le cas des sorghos guinea margaritifera qui sont les plus divergents des sorghos cultivés. Morphologiquement très spécialisés, ils sont génétiquement distants de l'ensemble des autres sorghos

cultivés. Cette constatation tend à montrer qu'il sont l'objet d'un isolement reproductif important et mal compris. Par ailleurs, leur origine géographique ainsi que les raisons de leur différenciation ne sont pas élucidées. Tout au plus, un des deux groupes de sorghos *margaritifera* issus de l'analyse du polymorphisme des ADN mitochondriaux a inclus quelques sorghos sauvages d'Afrique australe. Beaucoup de questions au sujet des *margaritifera* attendent donc des réponses.

Dans ce document, la structuration génétique des sorghos cultivés est référée soit à des données taxonomiques soit à des données géographiques. A l'avenir, cette structuration génétique pourrait être rapportée à d'autres classements des sorghos cultivés établis en fonction de leurs aptitudes culturales ou de leurs réactions thermo-photopériodiques. Ainsi, seraient mieux pris en compte les forces structurantes que sont les pressions de sélection paysanne et les contraintes climatiques naturelles. Ces forces génèrent des compartiments de sorghos ménageant, en leur sein, des flux préférentiels de gènes qui renforcent les différenciations inter-groupes. Récemment, l'ICRISAT (1995) a pu séparer des sorghos locaux indiens de saison des pluies de ceux de contre-saison par une prise en compte conjointe de marqueurs enzymatiques RFLP et RAPD. Chez les maïs africains, il vient aussi d'être révélé que des différences génétiques existent entre cultivars de case et cultivars de plein champ (Sanou, communication personnelle).

Dés maintenant, l'image de la structuration des sorghos cultivés fournit des éléments pour mieux utiliser la diversité génétique de l'espèce et orienter des travaux de sélection. Des distances génétiques entre accessions peuvent être calculées pour mesurer les apparentements ou les divergences susceptibles de produire de l'hétérosis. Par ailleurs, la structuration génétique des sorghos guinea en trois groupes est un résultat important. Celui-ci invite à réaliser des plans de croisements entre leurs représentants pour préciser leurs aptitudes générales et spécifiques à la combinaison. Des travaux allant dans ce sens sont en cours au Burkina Faso (programme de sélection INERA/CIRAD). Ils aideront à mieux définir les croisements pouvant conduire à une amélioration variétale intra-guinea.

Enfin, ces études de diversité orientent la préservation de l'espèce *Sorghum bicolor*. Elles permettent notamment d'optimiser la mise en place de collections d'écotypes en fonction du nombre et de la taille des groupes structuraux du polymorphisme génétique des sorghos cultivés.

BIBLIOGRAPHIE

- Aldrich P.R., Doebley J., 1992. Restriction fragment variation in the nuclear and chloroplast genomes of cultivated and wild *Sorghum bicolor*. Theor. Appl. Genet. (1992) 85 : 293-302.
- Aldrich P.R., Doebley J., Schertz K.F., Stec A., 1992. Patterns of allozyme variation in cultivated and wild *Sorghum bicolor*. Theor. Appl. Genet. 85 : 451-460.
- Board on Science and Technology for International Development, 1996. Lost Crops of Africa, Volume 1, Grains. National Academy Press, Washington D.C., USA : 383 p.
- Degremont I., 1992. Evaluation de la diversité génétique et du comportement en croisement des sorghos (*Sorghum bicolor* L. Moench) de race guinea au moyen de marqueurs enzymatiques et morphophysiologiques. Thèse de Docteur en Sciences, Université Paris XI, Orsay : 191 p.
- Deu M., Gonzales-de-Leon D., Glaszman J.C., Degremont I., Chantreau J., Lanaud C., Hamon P., 1994. RFLP diversity in cultivated sorghum in relation to racial differentiation. Theor. Appl. Genet., 88 : 838-844.
- Deu M., Hamon P., Chantreau J., Dufour P., D'hont A., Lanaud C., 1995. Mitochondrial DNA diversity in wild and cultivated sorghum. Genome, 38 : 635-645.
- De Wet J.M.J., 1978. Systematics and evolution of *Sorghum* sect. *Sorghum* (Graminae). Am. J. Bot. 65(4) : 447-484.
- De Wet J.M.J., Huckabay J.P., 1967. The origin of *Sorghum bicolor* II. Distribution and domestication. Evolution. (21) : 787-802.
- De Wet J.M.J., Harlan J.R., Price E.G., 1970. Origin and variability in the spontanea complex of *Sorghum bicolor*. Am. J. Bot. 57(6) : 704-707.
- De Wet J.M.J., Harlan J.R., 1971. The origin and domestication of *Sorghum bicolor*. Econ. Bot. 25(1) : 128-135.
- Doggett H., 1976. *Sorghum*. In : Evolution of crop plants. Simmonds ed. London (GB). Longman : 112-117.
- Doggett H., 1988. *Sorghum* (seconde édition). London & Harlow (GB), Longman Scientific &

Technical : 512 p.

- Harlan J.R., 1987. Les plantes cultivées et l'homme. Techniques vivantes. Presses Universitaires de France : 414 p.
- Harlan J.R., De Wet J.M.J., 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. Crop Sci., 12 : 172-176.
- ICRISAT, 1995. Molecular markers. ICRISAT Asia Region Annual Report 1994, Patancheru 502324, Andra Pradesh, India, ICRISAT : 33.
- Morden W.C., Doebley F.J., Schertz K.F., 1989. Allozyme variation in old world races of *Sorghum bicolor* (Poaceae). Amer. J. Bot., 76(2) : 247-255.
- Morden W.C., Doebley F.J., Schertz K.F., 1990. Allozyme variation among the spontaneous species of *Sorghum* section *Sorghum* (Poaceae). Theor. Appl. Genet. 80, 296-304.
- Ollitrault P., Arnaud M., Chantereau J., 1989. Polymorphisme enzymatique des sorghos. II - Organisation génétique et évolutive des sorghos cultivés. L'Agron. Trop., 44(3) : 211-221.
- Tao Y., Manners J.M., Ludlow M.M., Henzell R.G., 1993. DNA polymorphisms in grain Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Theor. Appl. Genet. (1993) 86 : 679-688.

GESTION DES CULTIVARS LOCAUX DE MAIS PAR LES PAYSANS DU BURKINA FASO

Sanou J. ¹, Gouesnard B. ² et Charrier A. ³

1 - INERA, CRRA de Farako Bâ, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

2 - INRA, UFR-GAP, Mauguio, France

3 - ENSAM, UFR-GAP, Montpellier, France

RESUME

Les ressources génétiques locales constituent une base pour l'amélioration des capacités de production des espèces dans leur milieu. En Afrique des savanes, la longue pratique de la culture du maïs a abouti à l'obtention d'un nombre important de cultivars locaux adaptés à leur environnement. Cette zone est un centre de diversification secondaire du maïs (Brandolini, 1969). Les prospections réalisées au Burkina Faso ont permis la collecte de nombreux cultivars et l'obtention d'informations ethnobotaniques relatives à leur gestion par les agriculteurs. Dans ce pays, le maïs est cultivé dans deux zones agroclimatiques. La zone principale de production a une pluviométrie annuelle de 900 mm ; elle se caractérise par la présence des cultures de maïs de plein champ et de case tandis que dans la zone secondaire, moins pluvieuse, seule subsiste la culture de case. En général, chaque agriculteur possède pour chacun de ces agrosystèmes des cultivars spécifiques à grain corné : les cultivars de plein champ, gérés par les hommes, sont tardifs et leur récolte est destinée à la préparation de tô, tandis que les cultivars de case gérés par les femmes sont précoces, essentiellement consommés en épis immatures pendant la soudure. Bien qu'un effort de vulgarisation de variétés élites ait été réalisé depuis une vingtaine d'années, ces cultivars locaux persistent chez la majorité des agriculteurs.

Les résultats expérimentaux confirment l'intérêt de ces cultivars dans le système de production de la majorité des agriculteurs. Une étude enzymatique de 18 locus repartis sur 9 chromosomes a été réalisée sur 100 cultivars ainsi que sur les principales variétés élites mises à la disposition des agriculteurs. Les résultats indiquent une structuration du polymorphisme enzymatique de ces cultivars en fonction de l'agrosystème dans lequel ils sont produits. Au niveau des caractères agromorphologiques, le cycle des cultivars permet également une structuration de leur variabilité en fonction de ce même critère. Deux marqueurs enzymatiques spécifiques de la variété élite SR 22 permettent de tracer le flux de gènes entre celle-ci et plusieurs cultivars locaux. Des propositions sont faites pour optimiser la gestion de la variabilité génétique de ces maïs en zone de savane ouest africaine.

Mots clés : ressources génétiques, *Zea mays* L., cultivars locaux, flux génique, gestion à la ferme, isoenzyme

INTRODUCTION

L'amélioration de la production du maïs en Afrique des savanes s'est effectuée ces dernières années à travers un important programme d'introduction variétale à partir du matériel américain du CIMMYT. Cette approche avait pour objectif de substituer aux cultivars locaux des variétés élites plus performantes dans le contexte où l'agriculteur devait intensifier son système de production en adoptant l'itinéraire technique rentabilisant les variétés élites introduites. Très peu d'agriculteurs ont pu faire cet effort et la culture du maïs en zone de savane reste largement basée sur des cultivars locaux. L'attachement des agriculteurs à ces cultivars, malgré la vulgarisation de nouvelles variétés élites introduites, interpelle chaque sélectionneur sur leur intérêt et pose la question de la gestion de leur variabilité génétique.

Ces aspects sont abordés dans le contexte du Burkina Faso, pays sahélien dont l'alimentation de base est constituée par des céréales utilisées à près de 74 kg/habitant (Monde : 20 kg /habitant). Le maïs y représente environ 8% des surfaces céréalières mais son potentiel de production est plus important que celui du mil et du sorgho. Il est, pour cette raison, de plus en plus sollicité pour l'accroissement de la production agricole.

PRINCIPALES ZONES DE CULTURE DU MAÏS AU BURKINA FASO

Deux zones de production du maïs se distinguent au Burkina Faso. La plus importante ou zone principale de culture du maïs s'étend dans l'ouest et dans le sud-ouest du pays et couvre les Centres Régionaux de Promotion Agro-pastoraux (CRPA) des Hauts Bassins de la Comoé du sud-ouest et la partie ouest du CRPA du Mou Houn. Le climat est du type sud-soudanien, caractérisé par une pluviosité monomodale supérieure à 900 mm par an (Sivakumar et Gnoumou, 1987) et dure de 130 à 180 jours (Guillobez, 1985). Cette zone couvre la savane arborée et la savane de forêt claire et est caractérisée par des sols bruns eutrophes, bien pourvus en éléments minéraux et en matière organique. Le système d'exploitation est basé sur les cultures vivrières de céréales (sorgho, mil, maïs, fonio, riz) et sur les cultures de rente (coton, arachide) avec peu d'élevage.

La zone secondaire de culture du maïs a un climat du type nord-soudanien avec un climat de transition soudano-sahélien au centre et un climat typiquement soudanien à l'est. La pluviométrie annuelle se situe entre 600 à 800 mm (Sivakumar et Gnoumou, 1987). La durée de la saison pluvieuse fluctue entre 130 et 150 jours (Guillobez, 1985). Elle se caractérise par une fréquence importante de sécheresse, notamment en savane arborée claire. Les sols peu évolués issus d'érosion de matériaux gravillonnaires sont observés au nord, des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à lessivés sur matériaux sableux, sablo-argileux ou argilo-sableux se trouvent au centre et à l'est. Le système agricole est axé sur la culture vivrière à base de céréales (sorgho). Les cultures secondaires sont le mil, l'arachide, le maïs, le coton. Avec l'augmentation des risques de sécheresse, on observe un accroissement des superficies en mil au détriment du sorgho. L'élevage y est important. Cette zone comporte plusieurs périmètres irrigués destinés aux productions maraîchères, au riz ou au maïs de contre saison.

CONSERVATION ET INTERET DES CULTIVARS LOCAUX CHEZ LES AGRICULTEURS

A - LES DONNEES D'ENQUETE

1. Typologie des champs et des cultivars associés

1.1. Typologie des champs cultivés

L'agriculture du pays est caractérisée par trois types de champs respectivement nommés : champ de case, champ de village, champ de brousse (Le Conte, 1967) selon une traduction littérale de leur appellation dans plusieurs dialectes locaux. Leur existence dépend des conditions agroclimatiques et démographiques. La fertilité, la date des opérations culturales et les espèces rencontrées dans ces champs sont caractéristiques et permettent une définition ainsi qu'une délimitation des aires de ces champs (schéma n° 1).

- *Les champs de case*

Ils sont à proximité des habitations. Leur faible superficie (0,1 à 0,5 ha) est liée à la densité de la population et au mode de regroupement de l'habitat. Ces champs bénéficient de la fumure organique issue de détritiques ménagers, des déjections animales ainsi que des résidus de récoltes. Ils présentent de ce fait un bon potentiel de fertilité caractérisé par une capacité d'échange cationique élevée, une grande richesse en phosphore assimilable et un pH légèrement basique. Il existe cependant un fort gradient de fertilité lorsqu'on s'éloigne des habitations (Sedogo, 1981).

Dans les zones d'élevage, les anciens parcs à bestiaux sont aussi cultivés. Ce type de champ est un véritable potager où l'on trouve les plantes d'utilisation courante comme l'oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa*), le gombo (*Abelmoschus esculentus*), l'arachide (*Arachis hypogaea*), le niébé (*Vigna unguiculata*). Ces espèces sont cultivées en association avec des céréales de soudure comme le maïs et dans une moindre mesure le sorgho rouge hâtif (*Sorghum bicolor* ssp.). Il est géré par les femmes aidées des enfants. Les travaux champêtres y débutent dès la première pluie significative de la campagne agricole (mois de mai). Ces champs sont cultivés de façon permanente et stable ; ils ne disparaissent que sous la contrainte d'une forte urbanisation.

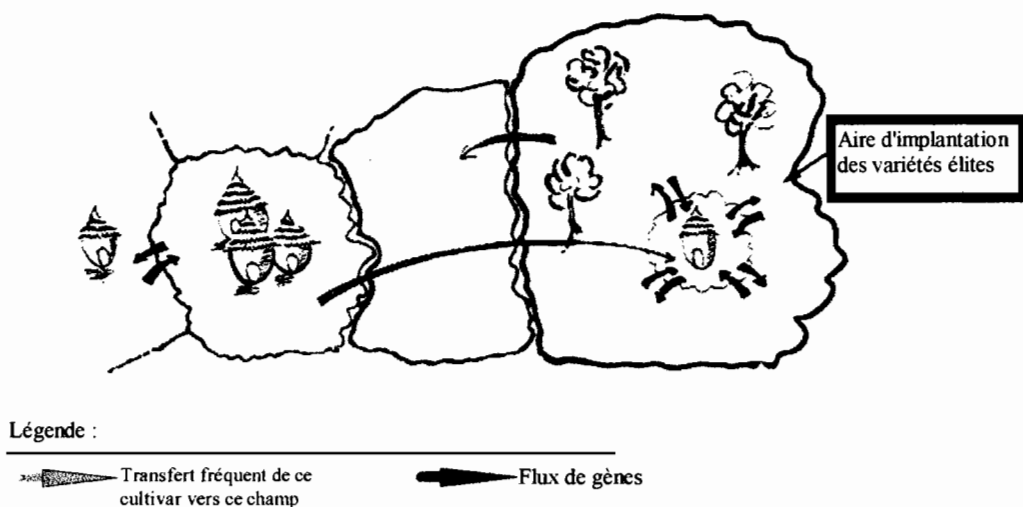
- *Les champs de village*

Ces champs sont beaucoup plus grands (2 à 5 ha) et situés à l'écart des habitations. Ils profitent encore de soins fréquents et sont établis sur des terres jouissant d'un potentiel de fertilité correct, mais inférieur à celui des champs de case. Sedogo (1981) a noté dans ces champs une diminution des teneurs en phosphore assimilable, en bases échangeables et en matière organique. Ces champs peuvent bénéficier d'un apport de fumier lié à l'élevage itinérant. Ils sont gérés par les hommes et sont ensemencés après les champs de case, lorsque les pluies sont bien installées. Une espèce céréalière y domine, mais il est courant de noter la présence d'une plante secondaire associée (légumineuse, plante à tubercule, variétés hâtives de céréale). Les champs de village sont mis en jachère pendant 2 à 3 ans lorsqu'ils sont appauvris.

- *Les champs de brousse*

Situés beaucoup plus à l'écart, parfois très loin des villages, leurs sols sont à bas potentiel de fertilité ; ils sont presque toujours de texture sableuse et ne bénéficient que de soins sporadiques. Sedogo (1981) indique que les propriétés chimiques de ces champs sont plus défavorables que celles des autres champs ; on y pratique en effet une culture continue pendant une dizaine d'années avec exportation totale des résidus culturels ce qui entraîne une dégradation de la fertilité. Elle est suivie d'une jachère pouvant atteindre une quinzaine d'années. Leur surface est comprise entre 3 et 10 hectares. Ces champs sont gérés par les hommes.

Schéma 1 : Localisation des différents types de champ par rapport au village. Indications sur leurs caractéristiques générales et types de cultivars de maïs rencontrés.



Nom du champ	Champ de case 0,1-0,5 ha	Champ de village 2-5 ha	Champ de brousse 3-10 ha
Localisation	Zones principale et secondaire	Zones principale et secondaire	Zone principale seule
Fertilité	+++	++	+
Mode de culture	Association	Association ou monoculture	Monoculture, ou association
Type de maïs cultivé	Cultivars de case	Cultivars de plein champ (rare, surtout du sorgho)	Cultivars de plein champ
Concurrence des cultures de rente : variétés élites de maïs	-	++	+++

Les cultivars des espèces produites ont en général un cycle tardif. Ce sont par ordre de fréquence le mil, le sorgho blanc ou rouge, le maïs, le coton et éventuellement l'arachide. Les espèces occasionnellement associées aux maïs dans ce champ sont variables selon les régions. L'association la plus courante est celle réalisée avec l'arachide et le niébé, mais elle peut se faire avec le riz dans les bas-fonds (zone de Banfora), le cotonnier dans la zone cotonnière (Houndé, Solenzo), le mil dans

la région de Bobo-Dioulasso ou l'igname dans la zone de Diébougou. Compte tenu de l'étendue de ces champs, les cultures de rente s'y introduisent facilement après une amélioration foncière. Ainsi, le coton et la culture d'arbres fruitiers tendent à y remplacer les cultures traditionnelles. Les avantages de la rotation coton/maïs privilégient la substitution du sorgho et du mil par le maïs plus rentable. Le semis y est tardif car il intervient au moment où la saison des pluies est installée (juin à juillet).

Exception faite de la zone cotonnière où l'on peut rencontrer une majorité d'agriculteurs cultivant simultanément du maïs dans ces trois types de champs, la fréquence du maïs diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne des habitations. Dans la zone de culture secondaire, le maïs est essentiellement produit en champ de case et pendant la saison pluvieuse. La culture pure ou de plein champ y est plutôt rare et ne se rencontre que dans les périmètres irrigués.

1.2. Typologie des cultivars locaux de maïs, utilisation et régénération

En fonction du type de champ, l'agriculteur utilise des cultivars locaux différents. Dans les champs de case, le maïs est produit pour une consommation en épi immature pendant la soudure (période de pénurie située juste avant la récolte des cultures de champ de brousse) et, pour cette raison, les cultivars utilisés ont un cycle généralement court. Leurs grains sont jaunes cornés. Ce type de cultivar que nous nommons cultivar de case se rencontre dans tout le pays. Chaque famille possède son propre cultivar.

Dans la zone principale de production, chaque agriculteur utilise dans son champ de village et de brousse un même cultivar que nous nommons cultivar de plein champ car il est le plus souvent produit en monoculture. Il est différent des cultivars de case. Chez un même agriculteur, ce maïs est plus tardif que celui des cultures de case et son grain est blanc, corné ou corné denté. Il est destiné à la préparation du tô (plat de base du pays). Les cultivars dotés de grains multicolores (blanc, jaune et ses nuances, grains violets très diversifiés) sont également fréquents. Dans les champs de brousse de plusieurs agriculteurs, nous avons noté cependant la présence d'une case de passage. Les abords de celle-ci ne sont pas ensemencés avec le cultivar de plein champ, mais avec le cultivar de case. Cette culture est entretenue comme dans les champs de case et sa récolte est entièrement consommée en épis immatures.

Les cultivars de maïs de la zone de savane ouest africaine sont coniques ou cylindro-coniques avec un renflement basal entraînant en général un enchevêtrement des rangs de grains. La rafle est en général blanche, bien que certains cultivars de case se distinguent par une proportion élevée de rafles rouges. Au niveau des caractères végétatifs, les cultivars de case sont le plus souvent anthocyanés sur les feuilles, les gaines foliaires et la panicule. Le polymorphisme pour la coloration des panicules et des stigmates est très important dans les deux types de cultivars.

La régénération des cultivars se fait traditionnellement par les agriculteurs qui conservent 10 à 30 épis pour les semences de cultivars de case et au moins 30 épis pour les cultivars de plein champ. Ceux-ci effectuent des sélections massales en deux étapes dans leur champ. La première étape consiste à la localisation d'une portion du champ comportant de beaux épis ; à la récolte, la deuxième étape consiste à retenir les épis les mieux remplis et couverts de spathes. Ces épis sont noués et suspendus à des branches d'arbres avoisinant l'habitat de l'agriculteur, ou simplement séchés sur la toiture de celui-ci. Ils sont ensuite conservés dans des greniers ou pendus dans les habitations jusqu'à leur égrenage en mélange avant le semis.

2. Origine des cultivars

Trois origines historiques ont été identifiées pour les cultivars de chaque agriculteur. La première et la plus importante concerne un héritage familial. Cette situation est majoritaire dans la zone principale de culture du maïs tant pour les cultivars de case que pour les cultivars de plein champ. Chaque agriculteur semble bien connaître l'origine, même lointaine, de son maïs dont la transmission est du type patriarcal (cas des cultivars de plein champ surtout), sans doute à cause de la possession de la terre.

L'emprunt ou l'échange est la deuxième origine des cultivars. Ce cas est toujours associé à un événement particulier : stress (sécheresse, maladies), aptitude particulière d'un cultivar (résistance, précocité, utilisation en pharmacopée, qualités organoleptiques...), événement social (mariage à

l'issue duquel une femme introduit dans son foyer le cultivar de ses parents). Les cultivars de case sont les plus impliqués dans ce cas, contrairement aux cultivars de plein champ. Les échanges se font le plus fréquemment au sein d'un même village ou entre villages voisins ; les migrations de personnes de la zone secondaire vers la zone principale s'accompagnent quelquefois du transfert de cultivars de case.

Enfin, dans un nombre réduit de situation de la zone secondaire, les cultivars sont issus d'achat au marché. Bien que ce mode d'obtention soit courant au Burkina pour certaines espèces (arachide, niébé, voandzou), il est plutôt rare pour les céréales.

B - RESULTATS EXPERIMENTAUX

1. Valeur agronomique des cultivars locaux

Ces résultats sont une synthèse d'un travail sur les cultivars locaux et des variétés élités (SR 22, Maka, IRAT 171) dans les conditions d'une l'agriculture traditionnelle (absence de fertilisation minérale, association culturale) et d'une agriculture semi-intensive (fertilisation minérale optimale, culture pure, forte densité) (Sanou, 1996).

Dans l'agriculture traditionnelle, la majorité des cultivars locaux ont un meilleur comportement en culture associée que la meilleure variété élite (SR 22) sélectionnée pour la culture pure. De même, lorsque la fertilisation minérale est absente, les cultivars locaux donnent une meilleure production que la variété élite SR 22. Pearson (1985) estime que les cultivars de mil et de sorgho développés dans des conditions limitantes d'azote disposent d'un mécanisme spécifique de tolérance à cette déficience de fertilisation minérale.

Dans les conditions de culture des variétés élités, plus de la majorité (60%) des cultivars montre un potentiel de rendement similaire à celui de la variété élite SR 22. Il ressort en particulier qu'un nombre important de cultivars précoces ont une potentialité de rendement aussi importante que celle de la variété élite. Ce résultat est d'autant plus important que la diminution de la pluviométrie observée en Afrique tropicale au cours des deux dernières décennies augmente considérablement l'intérêt de variétés précoces. Par contre, l'accroissement de la densité de peuplement (de 50 000 à 100 000 pl/ha) affecte beaucoup plus le comportement de la majorité des cultivars que celui de la variété élite. Une tendance à la verse est à craindre lors de l'intensification de la culture basée directement sur les cultivars locaux.

Les hybrides complexes entre cultivars et la variété SR 22 montrent une amélioration de la productivité (1-2 t/ha), un faible accroissement de la taille (moins de 20% pour la hauteur d'insertion de l'épi) et un meilleur comportement vis à vis du Maize Streak Virus comparativement à leur cultivar respectif. Ces améliorations sont essentiellement dues au bon niveau de ces caractères dans la variété élite.

2. Structuration de la variabilité génétique des cultivars

Au niveau morphologique, les cultivars se repartissent en deux groupes en fonction de leur précocité. Dans le groupe de maïs précoce, on retrouve des cultivars de case des deux zones de production. Le groupe de maïs tardifs est essentiellement constitué par des cultivars de plein champ et par des cultivars de case provenant de villages où la pluviométrie est supérieure à 900 mm.

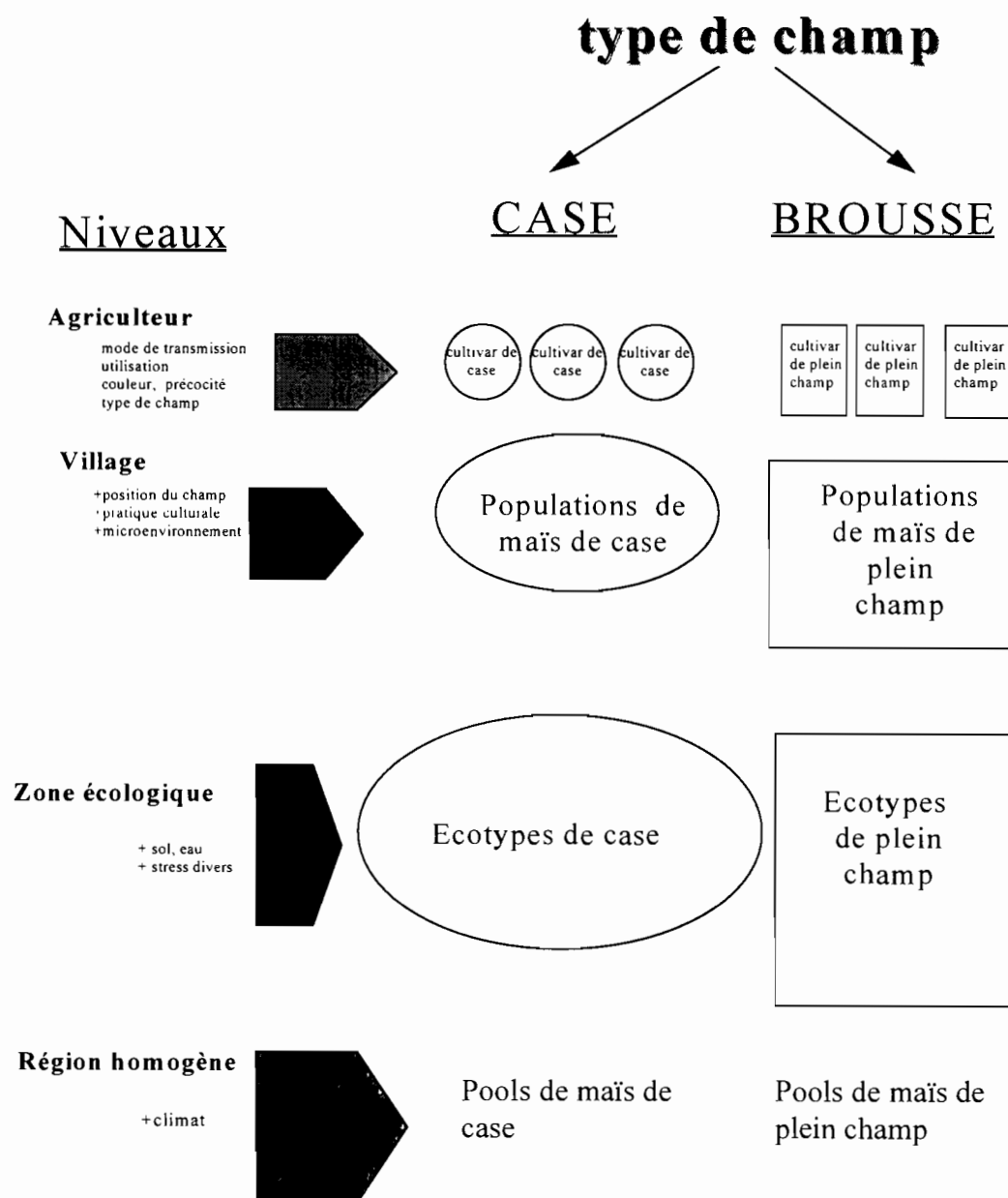
Au niveau enzymatique, l'étude de 18 locus concernant 90% des chromosomes du maïs indique qu'il n'est pas possible de considérer comme une seule entité génétique les différents cultivars du Burkina. La multiplicité des niches écologiques et les opérations de sélection des agriculteurs en sont les causes principales. Cependant, à l'échelle du village et en prenant en compte la position du champ et le lien de parenté entre les agriculteurs, une différenciation des cultivars de plein champ et des cultivars de case est possible.

Cette situation permet, en l'absence de lien de parenté et pour une dispersion des champs de production, de proposer un mode de regroupement de la variabilité génétique des différents cultivars. Les unités de base de la structuration de cette variabilité génétique sont respectivement le cultivar de plein champ et le cultivar de case de chaque agriculteur au sein du village. L'ensemble des maïs de

chaque unité forme un groupe génétique distinct selon une échelle géographique étendue et permet de distinguer respectivement pour chaque unité de base des populations, des écotypes, des pools comme l'illustre la figure n°1.

Dans la situation où il n'existe pas au départ deux unités de base, un seul type de regroupement est possible. Cette situation concerne notamment les villages de la zone secondaire dotés seulement de cultivars de case et de quelques villages de la zone principale localisés dans le CRPA du sud-ouest (Tovor, Kpatoura, Bouti, Holly et Yérifoula) dans lesquels chaque agriculteur ne possède qu'un cultivar pour ses différents champs.

Figure 1: Niveaux de structuration de la variabilité enzymatique des cultivars locaux du Burkina Faso

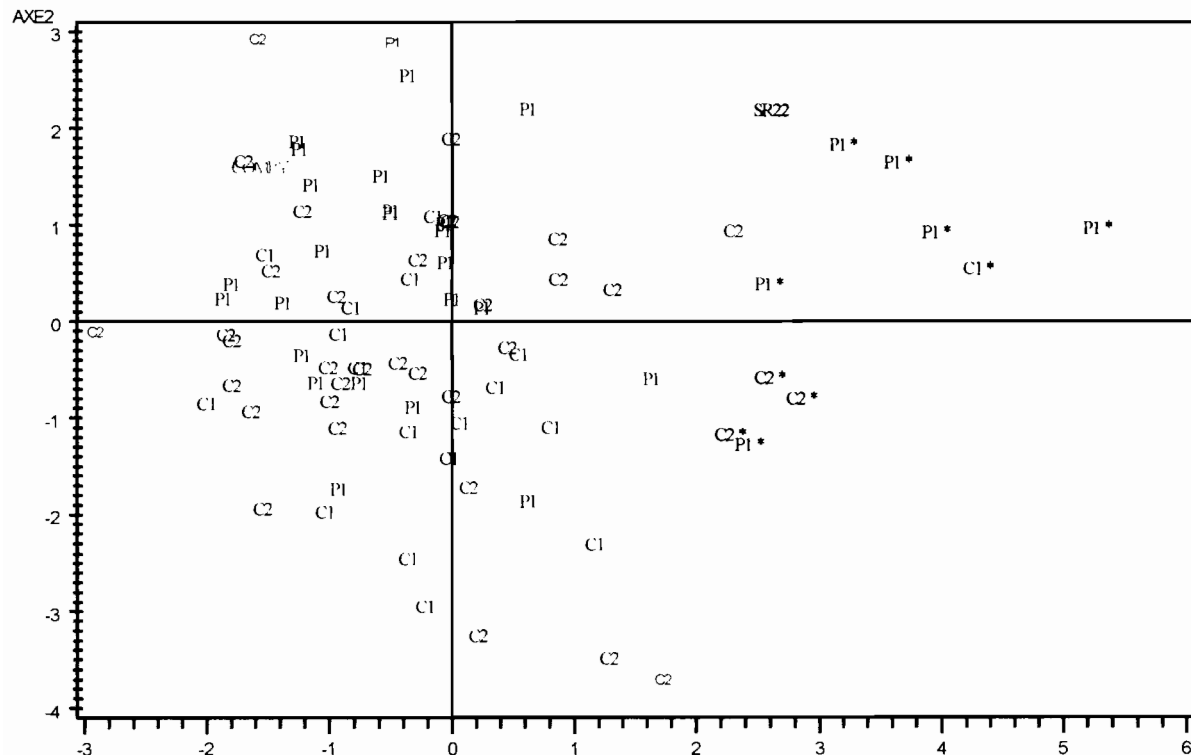


3. Flux géniques

L'étude enzymatique d'une centaine de cultivars locaux et des principales variétés élités du Burkina a indiqué que seuls les allèles Idh1-2 et Idh2-4.2 spécifiques de la variété élitée SR 22, sont absents de la majorité des cultivars locaux. Ils ne sont représentés que dans 10 cultivars locaux repérés par "*" qui se positionnent sur l'axe 1 dans une Analyse en Composantes Principales à proximité de la variété

SR 22 (Fig.2). L'étude de leur répartition géographique confirme que la présence des allèles Idh1-2 et Idh2-4.2 dans les 10 cultivars est étroitement liée à celle de SR 22 dont ils sont les marqueurs (Sanou *et al.*, 1996).

Figure 2 : Répartition selon les fréquences alléliques des cultivars de plein champ (P), des cultivars de case (C), des zones principales (1) et secondaires (2) de production de la variété élite (SR22), du pool génique (COMP Y) et des cultivars introgressés (*).



La sélection réalisée par les agriculteurs et la dérive liée au nombre limité d'épis retenus pour la semence sont les causes fréquentes citées pour justifier l'évolution de la variabilité génétique de cette espèce. En considérant le mode de reproduction allogame du maïs, les possibilités de flux géniques entre différentes populations de maïs constituent un autre facteur. Les flux géniques entre la variété élite SR 22 et les cultivars ont été observés dans 9 villages dont 8 sont situés en zone principale. Ces villages sont caractérisés par un taux d'adoption important de la variété élite à cause de la présence du coton ou par leur implication dans un réseau de tests démonstratifs effectués sur la variété élite.

Le niveau d'exposition des cultivars à l'introgression par la SR 22 est fonction du type de champ de production. Les cultivars introgressés se composent de 5 cultivars de plein champ et de 2 cultivars de case pour la zone principale, de 2 cultivars de case en zone secondaire. Parmi les 100 cultivars, le taux de cultivars introgressés est de 18% pour les cultivars de plein champ, 9% pour les cultivars de case de la zone principale et 4% pour les cultivars de case de la zone secondaire ; il est donc deux fois plus faible dans les cultivars de case de la zone secondaire comparativement à ceux de la zone principale.

Dans la zone principale, le taux de cultivars locaux introgressés est deux fois plus important dans les cultivars de plein champ que dans ceux de case. Cette situation peut être liée à la substitution des cultivars de plein champ par la variété élite chaque fois que l'agriculteur accède à une amélioration de ses conditions de production (Morant, 1991). Par contre, dans le cas présent, la variété élite n'étant pas adaptée à la culture de case (couleur, précocité...) se trouve donc peu dans ces champs. L'isolement des cultivars de case est relatif car, en situation de forte adoption de la variété élite, les cultivars de case sont également introgressés.

Le maintien des fréquences alléliques dans les cultivars se justifie par la technique de sélection massale utilisée par l'agriculteur pour le choix des semences. Cette technique favorise les plantes

introgressées par la variété élite par l'intermédiaire de l'hétérosis qu'elles développent. On aboutit indirectement à la sélection et au maintien des allèles introgressés dans les cultivars. Louette (1994) a indiqué dans un cas similaire au Mexique l'aptitude des agriculteurs à choisir préférentiellement les génotypes introgressés et vigoureux.

Il existe également un flux de gènes entre cultivars de plein champ et cultivars de case, en particulier dans la zone principale, lorsque les agriculteurs sèment leur cultivars de case dans leur champ de brousse. On assiste en fait à un transfert de la variabilité génétique des cultivars de case dans les cultivars de plein champ car les premiers sont entièrement consommés. Le fait que les écotypes de plein champ possèdent une richesse allélique (2,3 allèles/locus) et un taux de polymorphisme (72,2%) plus importants que ceux des écotypes de case (respectivement 2,0 allèles /locus et 61,1% pour le taux de polymorphisme) peut être expliqué par ce flux entre cultivars de case et cultivars de plein champ.

En somme, les données expérimentales confirment les résultats d'enquêtes sur les cultivars locaux. Leur maintien dans des champs différents pendant plusieurs générations de culture et les sélections massales effectuées par chaque agriculteur a abouti à la création de cultivars diversement adaptés aux conditions de ces champs (fertilité, pratiques culturales). Ces cultivars sont cependant soumis à des introgressions par les variétés élites suite à la cohabitation de ces deux types de matériels. L'ensemble de ces résultats permet la mise en oeuvre d'une méthodologie de collecte et de gestion des ressources génétiques des maïs en zone de savane de l'Afrique de l'Ouest.

CONSEQUENCES POUR LA GESTION DE LA VARIABILITE GENETIQUE DES MAIS LOCAUX

1. Conséquences pour la collecte et la conservation

1.1. Comment collecter ?

Au Burkina, chaque agriculteur a contribué à l'obtention de cultivars locaux adaptés à son agrosystème de production. Ces différents types de cultivars sont également observés au Sénégal (Durovray, 1976), au Mali (Sapin, 1976), en Côte d'Ivoire (Marchand, 1976) et au Bénin (Le Conte, 1976). Pour la prospection de ces maïs, la connaissance de leur mode de gestion traditionnelle et la prise en compte des relations sociales entre agriculteurs sont indispensables pour le regroupement d'une variabilité maximum et peu redondante. Chaque cultivar représente en effet une fraction de la variabilité globale disponible au sein de chacune des unités de gestion traditionnelle des agriculteurs.

1.2. Où collecter en priorité ?

L'existence de flux géniques naturels entre variétés élites récemment vulgarisées et cultivars locaux a été illustrée par l'exemple de la SR 22 dans plusieurs villages de collecte de la zone cotonnière du Burkina Faso. L'extension des surfaces de production consacrées aux variétés élites en Afrique de l'Ouest entraîne le risque de disparition des cultivars surtout par hybridation ou par substitution. Des collectes devraient être réalisées en priorité dans les zones où les variétés élites doivent être diffusées. Les efforts de collecte porteront sur les cultivars de plein champ soumis à leur concurrence directe, sans toutefois négliger les cultivars de case des mêmes zones.

2. Conséquences sur la conservation de la variabilité génétique des maïs de l'Afrique de l'Ouest

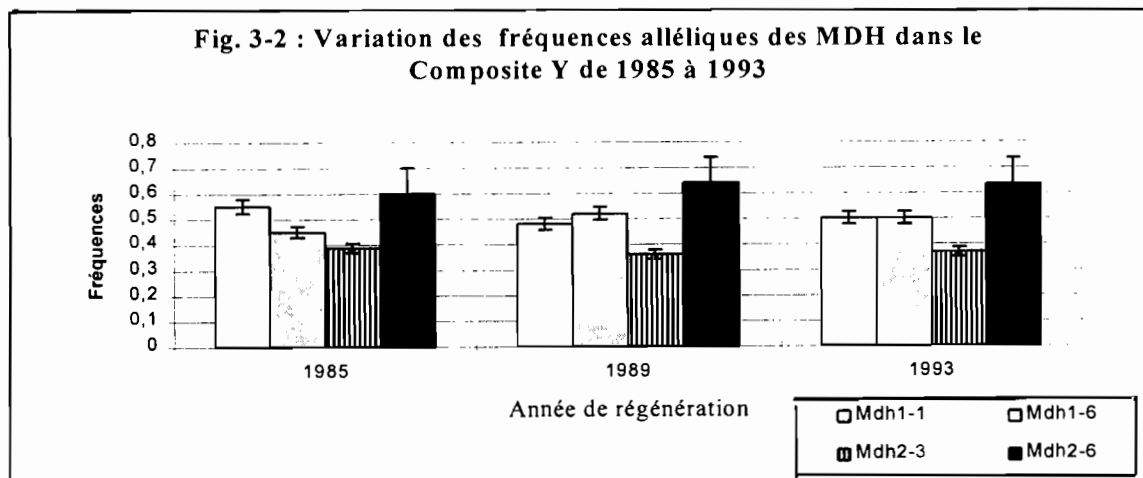
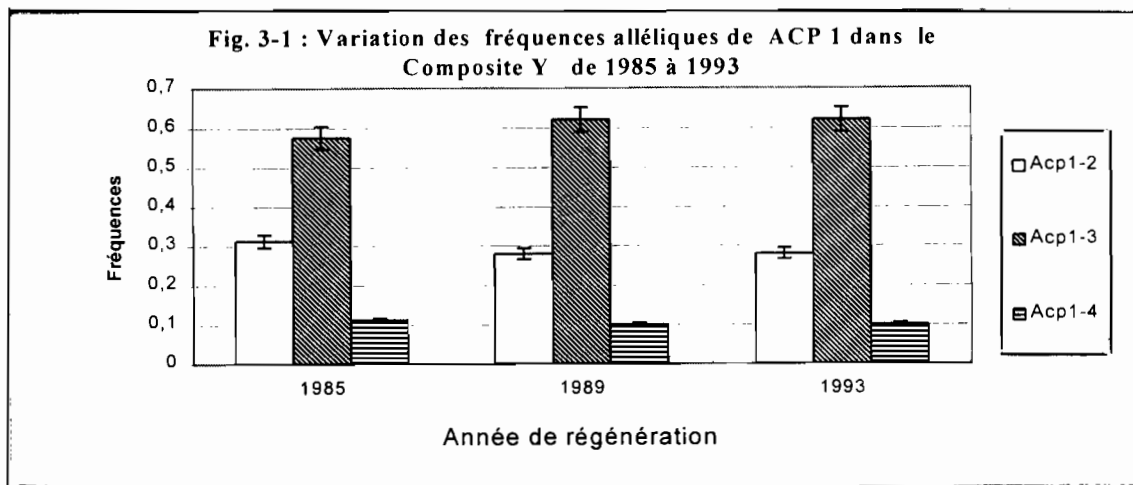
La préservation des acquis contenus dans les cultivars face à la diffusion à grande échelle de variétés élites peut trouver une solution en combinant la gestion *ex situ* du sélectionneur à la gestion *in situ* des agriculteurs à partir des approches de Brush (1991) et Berg (1992).

2.1. Conservation ex situ

L'approche conventionnelle développée depuis les années 70 consiste à conserver en banques de gènes les semences de chaque cultivar. Il est intéressant de conserver des cultivars individualisés, mais la conservation de nombreuses accessions est coûteuse et nécessite une pérennité de conservation rarement assurée par les structures nationales de recherche. Dans le contexte de l'Afrique des savanes, une collaboration avec les banques de gènes dotées d'un mandat régional (IITA

en particulier) ou international (CIMMYT) est indispensable pour la conservation à long terme des duplicata des cultivars. Cela doit se faire sur des bases contractuelles prévues (retour des échantillons en cas de besoin, accord sur les règles de gestion et de diffusion des semences). Le sélectionneur maintiendra néanmoins une collection de travail définie sur le concept de core collection (Frankel et Brown, 1984 ; Brown, 1989) afin de caractériser son matériel et de l'utiliser en création variétale.

La conservation des ressources génétiques de maïs sous forme de pools géniques est un moyen efficace et sûr tel que l'illustre le Composite Y créé à partir de 145 cultivars locaux du Bénin, du Burkina, de la Côte d'Ivoire, du Niger, du Mali et du Sénégal. Il représente le seul pool génique rassemblant un nombre aussi important de cultivars collectés dans la zone de savane ouest africaine après 1960 (Marchand, 1977). Conservé *ex situ* depuis sa création, il est régénéré à partir de 500 épis et sa variabilité n'a pas changé, même pour des allèles de faible fréquence (Fig.3-1 et Fig.3-2).



En outre, un accès facile à la variabilité génétique par une modification de l'état des différents caractères morphologiques (et indirectement enzymatiques) par les techniques courantes de sélection comme la sélection récurrente a été mis en évidence (Sanou, 1996). Le regroupement des maïs de la zone de savane africaine en pools spécifiques des différents types de cultivars permettra de préserver les adaptations acquises. Celui-ci doit se faire notamment en prenant en compte la structuration des cultivars initiaux. Par exemple, au Burkina, la constitution de pools thématiques à partir des cultivars de plein champ et des cultivars de case permettra non seulement de préserver les acquis de ces différents types de maïs, mais surtout de les rendre plus accessibles par la sélection. Les thèmes de regroupement peuvent concerner la précocité de cycle, la résistance à un stress biotique ou abiotique, l'utilisation, l'adaptation écologique, etc... L'inconvénient majeur de la conservation *ex situ* reste l'absence de coévolution entre les ressources génétiques et leur milieu réel.

2.2. Conservation in situ

Il s'agira d'une gestion à la ferme des cultivars valorisant les flux géniques entre cultivars locaux et variétés élites dans une opération de gestion dynamique réalisée chez les agriculteurs. Ces flux géniques sont particulièrement utiles pour introduire sur une échelle étendue et à partir d'une variété élite des qualités absentes dans les cultivars détenus par les agriculteurs. La mise en oeuvre de ce type de gestion nécessite un choix judicieux d'un donneur (variété élite ou pool de maïs locaux...). La diffusion d'échantillons de semences de celui-ci aux agriculteurs pour une implantation avec leur cultivar favorisera ensuite l'introggression des gènes désirables (résistance aux maladies et aux insectes, teneur en protéine, ...) dans les cultivars. L'établissement des flux géniques implique une synchronisation des floraisons du donneur et des cultivars d'un grand nombre d'agriculteurs. Les sélectionneurs devront alors cibler les cultivars à introgresser et prendre également certaines précautions afin que le donneur n'introduise pas de gènes d'inadaptation écologique et alimentaire en particulier. Dans le cas du Burkina par exemple, l'utilisation d'un donneur unique à grains blancs pour les deux types de cultivars entraînera la dénaturaion des critères de la consommation des épis immatures des cultivars de case. En fait, il s'agira de conserver les caractéristiques essentielles des cultivars locaux en leur conférant les facteurs de performance des variétés élites.

CONCLUSION

La gestion des cultivars locaux de maïs par les agriculteurs a abouti à l'obtention d'un matériel génétique original et adapté à leurs pratiques et à leurs divers besoins. Ce mode de gestion de la variabilité génétique est fiable et économique pour la préservation des maïs en Afrique des savanes. Il doit être privilégié avec une option d'enrichissement de la variabilité actuelle des maïs africains. Toutefois, la conservation *ex situ* permettant de conserver « statiquement » la variabilité est à associer. Chaque sélectionneur se doit de préserver, mais aussi de faire évoluer positivement les ressources génétiques locales pour assurer une sécurité dans la production agricole en Afrique des savanes.

BIBLIOGRAPHIE

- Berg T., 1992 : Indigenous knowledge and plant breeding in Tigray, Ethiopia. Forum for the development studies, n°1: 13-22.
- Brandolini A.G., 1969 : European races of maize. Proc.24th Ann.Corn and Sorghum Research Conference. 36-48.
- Brown A.H.D., 1989 : Core collections : a practical approach to genetic resources management. Genome, 31:818-824.
- Brush S.B., 1991 : Farmer conservation of new world crops : the case of andean potatoes. Diversity, 7(1-2):75-79.
- Durovray J., 1976 : L'amélioration du maïs au Sénégal. L'Agron.Trop., 31(3):259-264.
- Frankel O.H. ; Brown A.H.D., 1984 : Current plant genetic resources : a critical appraisal. p.1-11. In Genetics: New frontiers. Vol 4. Oxford and IBH Publ. Co., New Delhi, India.
- Guillobez S., 1985 : Carte phyto-climatique. In Carte des milieux naturels du Burkina Faso. IRAT.
- Le Conte J., 1967 : Enquêtes sur la culture et l'amélioration génétique des mils et des maïs cultivés en Haute Volta. Compte rendu de missions réalisées du 15 au 20 Octobre 1965 et du 2 au 8 Octobre 1967.IRAT. -62p.
- Le Conte J., 1976 : Sélection du maïs en République du Bénin (1965 environ à 1975 compris). L'Agron.Trop., 31(3):278-284.
- Louette D., 1994 : Gestion traditionnelle de variétés de maïs dans la réserve de la Biosphère Sierra de Manantlan (RBSM, états de Jalisco et Colima, Mexique) et conservation *in situ* des ressources génétiques de plantes cultivées. Doctorat en sciences agronomiques. Thèse. ENSA. Montpellier.- 245p
- Marchand J.L., 1976 : Synthèse des travaux d'amélioration variétale du maïs en Côte d'Ivoire (1968-1975). L'Agron.Trop., 31(3):272-277.
- Marchand J.L., 1977 : Note sur la création d'un composite de maïs africains. L'Agron Trop., 32(2):157-162.

- Morant P., 1991 : Caractérisation de la fragilité écologique et des potentialités agronomiques de Houndé au Burkina Faso: utilisation de différentes techniques de diagnostic. Thèse. Sciences Agronomiques. INPL, Nancy. 168p
- Pearson C.J., 1985 : Editorial: Research and development for yield of pearl millet. *Field Crops Res.*, 11:113-121.
- Portères R., 1955: L'introduction du maïs en Afrique. *Journal d'Agric. Tropicale et de Botanique Appliquée*, II(5-6):221-231.
- Portères R., 1972 : Origine des céréales mineures en Afrique intertropicale. I Le millet corocan ou finger millet (*Eleusine corocana* Gaertner). Anonyme pp.1-73.
- Sanou J., 1996 : Analyse de la variabilité génétique des cultivars locaux de maïs de la zone de savane ouest africaine en vue de sa gestion et de son utilisation. Doctorat en sciences agronomiques. Thèse. ENSA. Montpellier.-126p
- Sanou J., Gouesnard B. ; Charrier A., 1996 : isozyme variability in West African maize cultivars (*Zea mays* L.). *Maydica* (in press).
- Sapin P., 1976 : L'amélioration du maïs au Mali. *L'Agron.Trop.*, 31(3):265-267.
- Sedogo M.P., 1981 : Contribution à la valorisation des résidus cultureux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (Matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse. Docteur-Ingénieur. INPL, Nancy.-198p
- Sivakumar M.V.K ; Gnoumou F., 1987 : Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest: le Burkina Faso. ICRISAT, Bulletin d'Informartion n° 23. 192p.

LA DOMESTICATION DU NIEBE, *VIGNA UNGUICULATA* (L.) WALP.

Pasquet R.¹, Echikh N.², Gepts³, Baudoin J.P.⁴

1 - ORSTOM, University of California, Dept. of Agronomy and range Science, USA

2 - Phytotechnie des Régions Intertropicales, Fac. des Sciences Agronomiques, Gembloux, Belgique

3 - University of California, Dept. of Agronomy and range Science, USA

RESUME

Le niébé, *Vigna unguiculata*, principale légumineuse africaine, est une espèce bien isolée au sein du genre *Vigna*, mais très diversifiée. Au sein des formes spontanées, on distingue un dizaine de sous-espèces pérennes et souvent allogames et une sous-espèce annuelle, subsp. *unguiculata*. Cette dernière est partagée entre une variété spontanée, var. *spontanea*, et les formes cultivées, var. *unguiculata*. Les formes cultivées se distinguent des formes annuelles par un certain nombre de caractères morphologiques qui constituent le syndrome de domestication : taille plus importante des organes, réduction ou perte de la déhiscence des gousses et présence éventuelle de caractères récessifs utiles. Au sein des formes cultivées, s'opposent d'une part un groupe « primitif » morphologiquement plus proche des formes sauvages et un groupe « évolué », et d'autre part un groupe photoindépendant à nombre d'ovule élevé et un groupe photosensible à nombre d'ovules faible. La variabilité isoenzymatique des formes cultivées est remarquablement faible et s'avère plutôt indépendante des groupes morphologiques, ce qui plaide pour une domestication unique chez le niébé. L'étude isoenzymatique met toutefois en relief les cultivars éthiopiens et cv. gr. Textilis.

L'étude du polymorphisme enzymatique et de l'ADN chloroplastique montre aussi les formes cultivées légèrement distinctes de var. *spontanea*, qui reste le progéniteur le plus probable, et le décalage est surtout notable en Afrique de l'Ouest et en Afrique australe. Le nord-est de l'Afrique pourrait avoir ainsi été une zone clé dans la domestication du niébé. Les données ethnobotaniques et linguistiques obtenues au Cameroun vont aussi dans ce sens. Enfin, la mise en évidence d'un complexe cultivé-adventice, au moins en Afrique de l'Ouest, autorise deux hypothèses alternatives de domestication et pourrait modifier les stratégies de conservation génétiques des formes cultivées du niébé.

INTRODUCTION

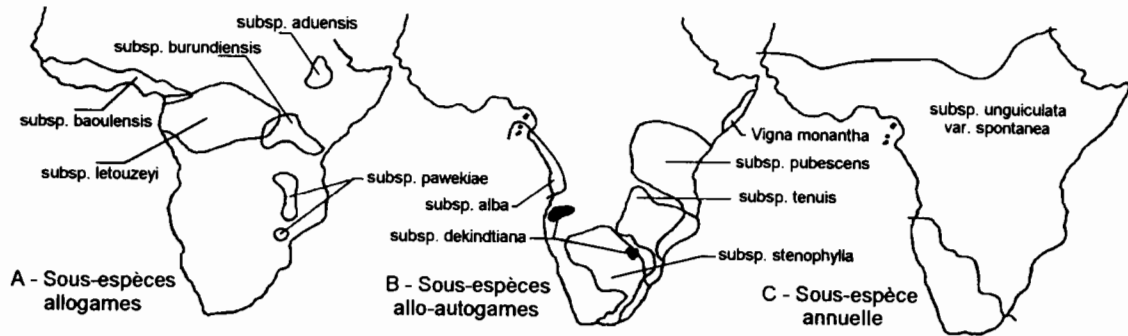
Le niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., est la principale légumineuse alimentaire d'Afrique. C'est une espèce bien isolée au sein du genre *Vigna*, même si les récentes études biosystématiques montrent qu'elle est assez proche d'autres espèces à fleurs roses, *V. reticulata* Hook.f. et *V. vexillata* (L.) A.Rich. (Vaillancourt et Weeden, 1993 ; Vaillancourt *et al.*, 1993a). Toutes les tentatives d'hybridations entre *V. unguiculata* et d'autres espèces du genre ont échoué (Faris, 1963 ; Mithen, 1989 ; Barone *et al.*, 1992).

LES FORMES SPONTANÉES

En revanche, l'espèce *V. unguiculata* est particulièrement diversifiée. La conception de l'organisation de ce complexe a beaucoup évolué au cours des trente dernières années (Verdcourt, 1970 ; Maréchal *et al.*, 1978 ; Mithen et Kibblewhite, 1993 ; Padulosi, 1993). On distingue maintenant une dizaine de sous-espèces pérennes et souvent allogames et une sous-espèce annuelle, subsp. *unguiculata*. (Pasquet, 1993a ; Pasquet, 1993c ; Pasquet, 1997) (figure 1). Cette dernière est partagée entre une variété spontanée, var. *spontanea*, et les formes cultivées, var. *unguiculata*, ce qui était déjà suggéré par Lush en 1979.

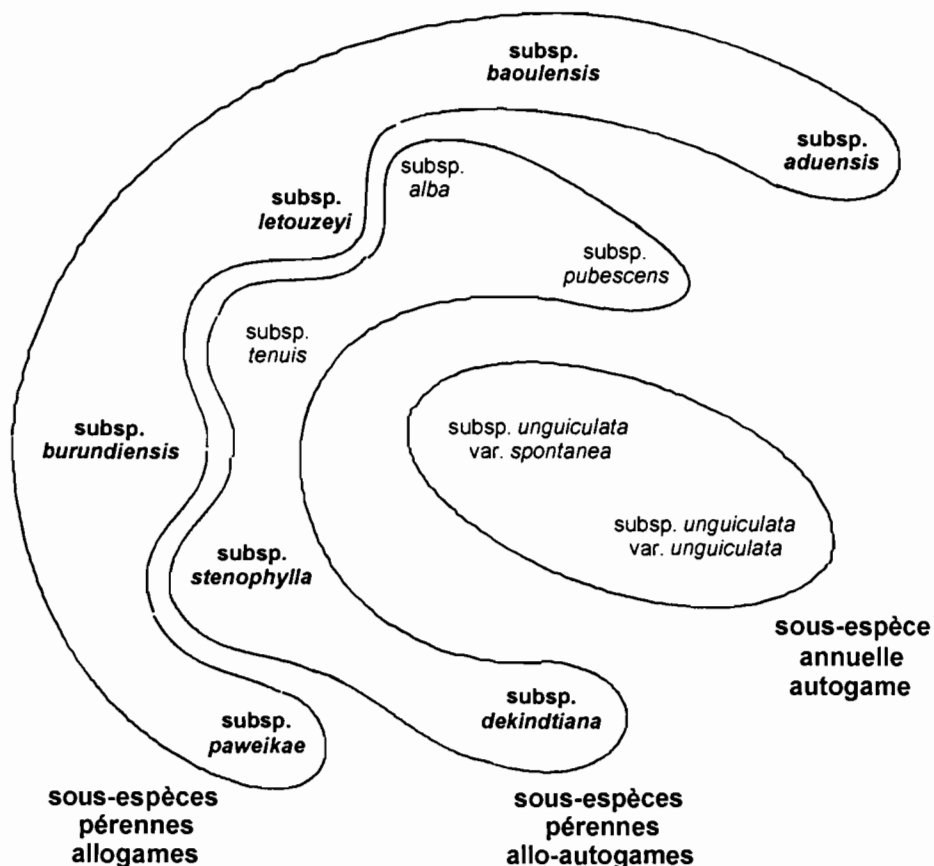
Les formes allogames se caractérisent par un syndrome floral allogame (fleurs plus grandes, plus claires, à fort arôme, susceptibles de s'ouvrir deux jours consécutifs, avec un nombre de grains de pollen plus élevé) et par une disposition particulière des anthères et du stigmate, qui empêche la remontée de l'autopollen vers le stigmate (Lush, 1979). Ce dispositif n'empêche pas les autofécondations qui peuvent être obtenues par une fécondation manuelle ou par le passage d'un insecte qui provoque un va-et-vient de la carène autour du style et des étamines.

Figure 1 : Distribution géographique des différentes sous-espèces.



On distingue alors au sein des formes pérennes un groupe de sous-espèces exclusivement allogames, d'écologie plutôt humide (marge des forêts équatoriales et des forêts d'altitude) génétiquement éloignées des formes annuelles, et un groupe de sous-espèces allo-autogames, comprenant chacune des formes allogames et des formes autogames qui occupent alors des espaces plus secs. Les sous-espèces de ce dernier groupe sont génétiquement plus proches des formes annuelles, tant par leurs profils isoenzymatiques (Panella et Gepts, 1992 ; Vaillancourt *et al.*, 1993b ; Pasquet, 1993b) que par les profils obtenus à partir de l'étude de leur ADN chloroplastique par RFLP (Vaillancourt et Weeden, 1992) (figure 2).

Figure 2 : Organisation du complexe d'espèce. La position de chaque taxon est fonction de sa distance génétique par rapport à subsp. *unguiculata* var. *spontanea*. Les taxons en gras présentent (ou sont supposés présenter) des barrières de reproduction au moins partielles avec les formes annuelles.

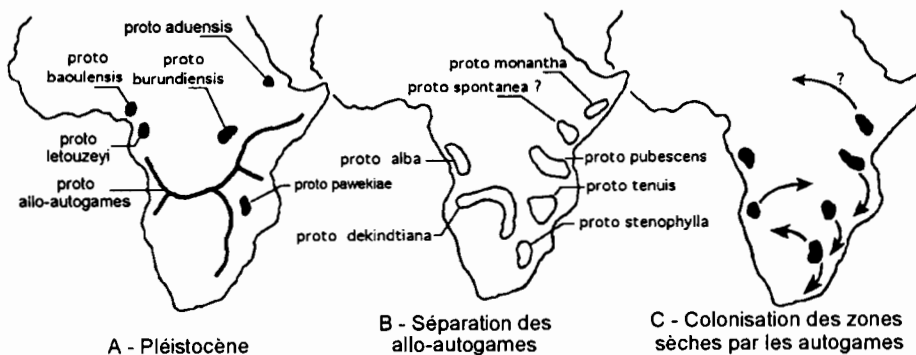


L'étude des barrières reproductives confirme cette structure. Les croisements entre sous-espèces pérennes proches ainsi qu'entre sous-espèces pérennes proches et formes annuelles conduisent à des F₁ fertiles. En revanche, les taux de réussite des croisements entre sous-espèces pérennes éloignées et sous-espèces pérennes proches sont faibles, en particulier quand le parent femelle est une forme pérenne proche. Divers phénomènes d'incompatibilité se manifestent ensuite : la gousse hybride obtenue peut ne pas contenir de graines viables (subsp. *letouzeyi* x subsp. *alba* par exemple), la jeune gousse peut avorter après une dizaine de jours (subsp. *baoulensis* x subsp. *alba*), la plante F₁ peut ne pas dépasser le stade végétatif avec un port nain (subsp. *baoulensis* x subsp. *tenuis*), la plante F₁ peut présenter un port réduit avec de nombreux boutons floraux qui avortent précocement (subsp. *baoulensis* x subsp. *tenuis*), la plante F₁ peut présenter un port normal mais les fleurs pollinisées tombent après deux ou trois jours (subsp. *baoulensis* x subsp. *letouzeyi*). Ceci plaide en faveur de l'existence d'un pool génique secondaire, constitué par les sous-espèces pérennes allogames éloignées, autour d'un pool génique primaire rassemblant les formes annuelles et les sous-espèces pérennes proches (figure 2).

L'ensemble des données obtenues conduit à une hypothèse évolutive en trois étapes :

- 1/ diversification des taxons allogames dans les différents refuges forestiers Pléistocène, alors qu'un taxon proto allo-autogame doit occuper l'interfluve Congo-Zambèze,
- 2/ fractionnement des taxons allo-autogames,
- 3/ conquête des espaces plus secs par les formes autogames des taxons allo-autogames (figure 3).

Figure 3 : Schéma évolutif des formes spontanées.



LES FORMES CULTIVEES

Par rapport aux formes spontanées, les formes cultivées se distinguent des formes annuelles par un certain nombre de caractères morphologiques qui constituent le syndrome de domestication : taille plus importante des organes (feuilles, gousses, graines), réduction ou perte de la déhiscence des gousses, réduction de la dormance des graines et présence éventuelle de caractères récessifs utiles : longs pédoncules floraux chez les formes textiles ; longues gousses charnues chez cv. gr. *Sesquipedalis* ; graines et fleurs blanches, tégument des graines fin et fripé chez cv. gr. *Melanophthalmus* ; photoindépendance chez cv. gr. *Unguiculata*.

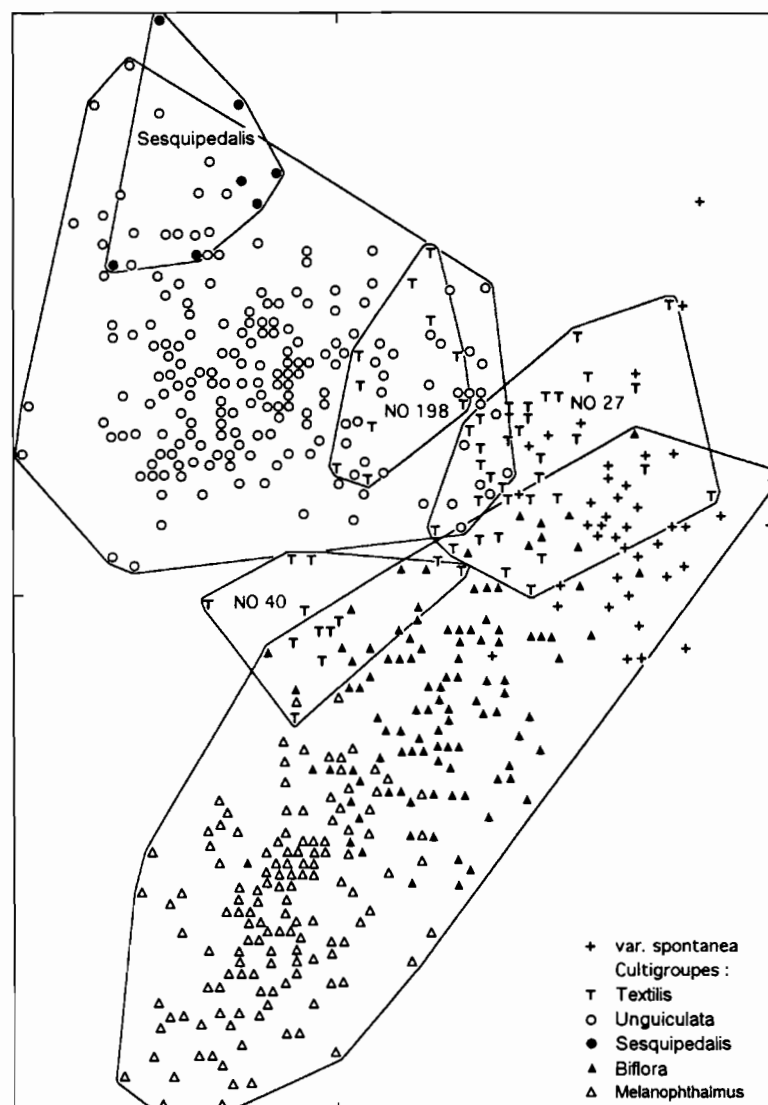
Dans le passé, deux conceptions des formes cultivées se sont plus ou moins opposées : celle des « trois groupes » de Piper (1912) qui, bien que critiquée par Steele (1972), a été suivie par la grande majorité des auteurs postérieurs (Verdcourt, 1970 ; Westphal, 1974 ; Maréchal *et al.*, 1978 ; Ng, 1990) et celle de Chevalier (1944) basée sur les seules formes africaines. En fait, c'est quatre groupes (cinq avec cv. gr. *Textilis*) qu'il faut considérer au sein des formes cultivées (Pasquet, 1996b) :

- Cultigroupe (cv. gr.) *Sesquipedalis* (cultivars aux longues gousses charnues et graines réniformes),
- cv. gr. *Unguiculata* (cultivars photoindépendants à nombre d'ovules élevé),
- cv. gr. *Biflora* (cultivars photosensibles à nombre d'ovules faible et tégument des graines épais),
- cv. gr. *Melanophthalmus* (cultivars photosensibles à nombre d'ovule faible et tégument des graines fin)
- et cv. gr. *Textilis* (cultivars photosensibles à longs pédoncules floraux).

Comme le montre l'analyse multivariée des données morphologiques (figure 4), dans cet ensemble s'opposent d'une part un groupe primitif morphologiquement plus proche des formes sauvages (cv. gr. *Biflora*) et un groupe de formes évoluées (cv. gr. *Melanophthalmus* et cv. gr. *Sesquipedalis*), d'autre part un groupe photoindépendant à nombre d'ovule élevé (cv. gr. *Unguiculata* et, dans une certaine mesure, cv. gr. *Sesquipedalis*) et un groupe photosensible à nombre d'ovules faible (cv. gr. *Biflora*, cv. gr. *Melanophthalmus* et, dans une certaine mesure, cv. gr. *Textilis*).

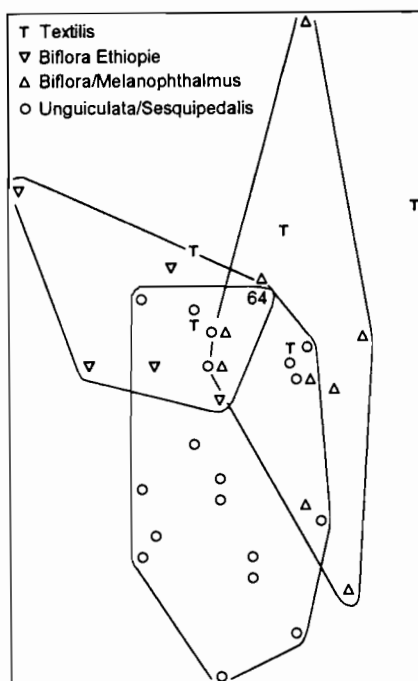
Figure 4. : Analyse en composante principale sur 13 variables morphophysiologiques (Pasquet, 1996b ; reproduit avec l'autorisation de l'éditeur). Inertie des axes et contribution relative des variables aux facteurs :

Inertie	Facteur 1	Facteur 2
Axe 1 : 27.48	Largeur éophylle 0.17	Tégument graine 0.24
Axe 2 : 19.77	Longueur gousse 0.16	Photosensibilité 0.19
Axe 3 : 9.82	Largeur étendard 0.12	Nombre d'ovules 0.16
	Déhiscence gousse 0.11	Longueur épicotyle 0.07
	Longueur foliole 0.09	



L'analyse isoenzymatique des formes cultivées ne corrobore pas vraiment l'analyse morphologique (figure 5). La diversité observée est très faible (Panella et Gepts, 1992 ; Vaillancourt *et al.*, 1993b ; Pasquet, 1996b). Elle n'est pas non plus structurée comme chez les plantes cultivées issues d'une double domestication telles le riz (Second, 1985) ou *Phaseolus vulgaris* (Singh *et al.*, 1991). Un tiers des numéros étudiés présentent le même « profil » et l'allèle le plus commun est le même chez tous les cultigroupes. Ceci est un argument important en faveur de l'unicité de la domestication chez *V. unguiculata*.

Figure 5. ACP sur distances de Nei (35 loci) entre 37 profils enzymatiques représentant 191 numéros de formes cultivées étudiés. « 64 » représente le profil le plus répandu (Pasquet, 1996b, reproduit avec l'autorisation de l'éditeur). Inertie des axes : Axe 1 : 40.11 - Axe 2 : 31.25 - Axe 3 : 22.62.



L'analyse isoenzymatique permet toutefois de distinguer trois groupes (Pasquet, 1996b) :

- cv. gr. Unguiculata avec les allèles got2-110 et fle3-104,
- cv. gr. Biflora et Melanophthalmus (d'Afrique de l'Ouest) avec amp3-103,
- cv. gr. Biflora Ethiopie avec gpd-105, enp-105 et fle3-104.

Comme dans l'analyse morphologique, cv. gr. Textilis apparaît dispersé au sein de ces trois groupes. Compte tenu des modes de reproduction différents, l'organisation des formes cultivées évoque assez celles du sorgho *Sorghum bicolor* L. (Ollitrault *et al.*, 1989) ou du mil *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br. (Tostain et Marchais, 1989).

Cv. gr. Biflora et cv. gr. Textilis, morphologiquement plutôt primitifs, ont en commun des allèles rencontrés nulle part ailleurs chez les formes cultivées et ils constituent deux pôles importants de variabilité. Par ailleurs les cultivars d'Ethiopie montrent aussi des similitudes isoenzymatiques avec cv. gr. Unguiculata, ce qui pourrait les situer à la charnière des deux lignées.

Ceci pourrait confirmer l'antagonisme entre une première période, où le niébé fut cultivé pour ses fibres, éventuellement pour son fourrage comme le suggère Ng (1995), et une période plus récente, où le niébé a commencé à être cultivé pour ses graines et où deux voies évolutives seulement se sont développées. La faible diversité de l'ensemble n'exclut pas que le stock spontané initial soit le même ou bien que cv. gr. Biflora se soit développé à partir de cv. gr. Textilis.

Il y aurait ensuite divergence entre les cv. gr. Biflora d'Afrique de l'Ouest et cv. gr. Unguiculata. Enfin, il y aurait émergence de cv. gr. Melanophthalma à partir des cv. gr. Biflora d'Afrique de l'Ouest,

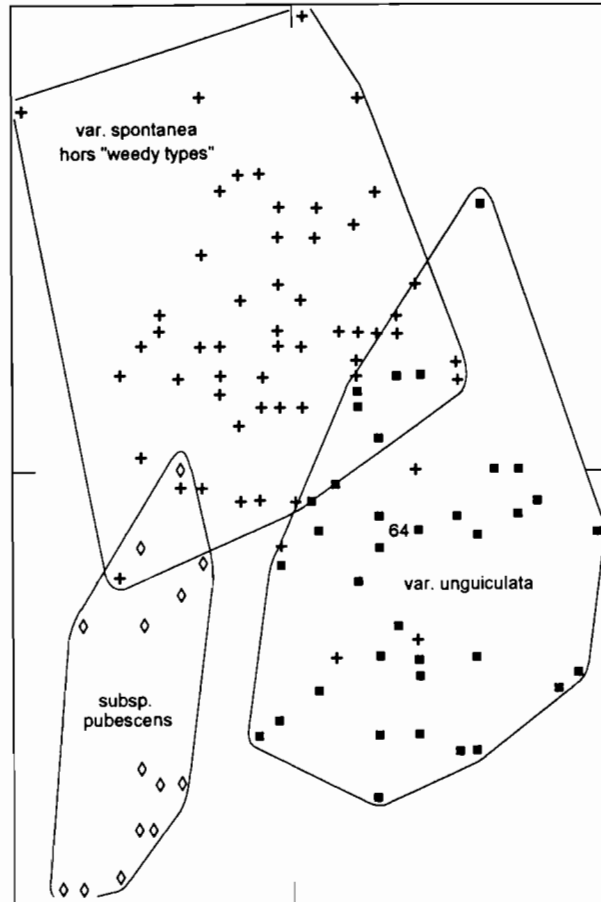
et de cv. gr. *Sesquipedalis* à partir de cv. gr. *Unguiculata*.

RELATIONS ENTRE FORMES CULTIVEES ET FORMES SPONTANÉES

Le progéniteur des formes cultivées

Dans l'ensemble, les formes cultivées sont génétiquement très éloignées des formes pérennes. Elles sont en revanche très proches des formes annuelles (la médiane des distances de Nei est de 0,154) et de subsp. *pubescens* (la médiane des distances de Nei est de 0,202), mais plusieurs allèles séparent nettement les formes cultivées de subsp. *pubescens* (Pasquet, 1996b) (figure 6).

Figure 6 : ACP sur distances de Nei (à partir de données isoenzymatiques sur 35 loci). Subsp. *pubescens*, var. *spontanea* et les 37 profils de formes cultivées (var. *unguiculata*). « 64 » désigne le profil cultivé le plus répandu (Pasquet, 1996b ; reproduit avec l'autorisation de l'éditeur). Inertie des axes : Axe 1 : 30.19 - Axe 2 : 21.28 - Axe 3 : 16.22.



Cette proximité justifie de considérer dans subsp. *unguiculata* les formes sauvages annuelles (var. *spontanea*) et les formes cultivées (var. *unguiculata*). Var *spontanea* constitue le progéniteur des formes cultivées le plus probable.

Le bottleneck

Le bottleneck entre formes spontanées et formes cultivées est très important chez *V. unguiculata* (Weeden *et al.*, 1996). Il l'est moins si on considère que les formes pérennes restent des taxons très éloignés qui pourraient être considérés comme des espèces distinctes sur la seule base des données isoenzymatiques (Crawford, 1989). Chez les légumineuses des genres voisins, la variabilité observée chez les formes sauvages (Schinkel et Gepts, 1989 ; Singh *et coll.*, 1991 ; Kiang *et coll.*, 1987 ; Potter et Doyle, 1992) correspond en fait à celle observée chez la seule var. *spontanea*. Si on considère seulement subsp. *unguiculata*, l'effet de bottleneck est moins impressionnant. Il reste que la variabilité des seules formes cultivées est faible comparée aux légumineuses voisines ou à l'ensemble des plantes cultivées (Doebley, 1989). Ce bottleneck, qui reste important, est un second argument pour avancer l'unicité de la domestication chez *V. unguiculata*.

Récemment, Vaillancourt et Weeden (1992) ont affirmé que le centre de domestication du niébé se trouvait au Nigeria, car ils n'avaient retrouvé les profils des ADN chloroplastiques des formes cultivées que chez deux échantillons spontanés du Nigeria. La distribution de ces profils chez les formes spontanées est toutefois beaucoup plus vaste. Nous les avons observés chez des échantillons du Cameroun, mais aussi de Guinée Bissau, du Sénégal et de Tanzanie.

Le décalage observé entre formes cultivées et var. *spontanea* en Afrique de l'Ouest semblerait plutôt exclure cette région de la zone de domestication. La diversité des formes cultivées pourrait plutôt se rapprocher de celle des formes spontanées d'Afrique du Nord-Est (Erytrée, Sud Soudan) qui nous sont pour l'instant inconnues en matériel vivant et pourrait se révéler, pour cette raison, relativement différentes des formes spontanées d'Afrique de l'Ouest. Les études ethnobotaniques (Pasquet et Fotso, 1994) et linguistiques menées au Cameroun vont aussi dans ce sens. Elles montrent que le niébé est plus lié aux populations de langues tchadiques qu'aux locuteurs adamawa ou bénoué-congo.

Ainsi les populations tchadiques les plus conservatrices (dans les monts Mandara) ont conservé une grande richesse de cultivars, alors que les populations adamawa les plus conservatrices (dans les monts Alantika) ne possèdent aucun cultivar primitif.

Par ailleurs, dans les langues tchadiques, le terme désignant le niébé est très varié suivant les langues et ses variations suivent les variations de l'ensemble du vocabulaire. Le terme niébé suit en quelque sorte la classification des langues tchadiques. En revanche, dans les langues adamawa parlées dans les zones plus méridionales, les termes désignant le niébé sont moins variés, quelquefois proches de termes tchadiques, et ne suivent pas la classification des langues adamawa : un même mot peut se retrouver dans des langues très éloignées. De la même manière, cv. gr. *Textilis* semble lié aux langues nilo-sahariennes. Dans les deux cas, langues tchadiques et plus encore langues nilo-sahariennes, une origine nord-est africaine est suggérée.

LE COMPLEXE CULTIVE-ADVENTICE

Il existe, au moins en Afrique de l'Ouest, un réel complexe cultivé adventice. L'étude de quelques populations du Niger a montré que si les populations spontanées (qui se rencontrent toutes en bordure ou au milieu des champs) sont morphologiquement très homogènes, il existe un gradient nord-sud très net. Les populations spontanées septentrionales sont très proches des formes cultivées : elles possèdent l'allèle amp2-102 et présentent une faible variabilité isoenzymatique. Il y a visiblement là un complexe cultivé-adventice. En revanche, les populations spontanées méridionales présentent une variabilité importante et apparaissent distinctes des populations cultivées (elles possèdent l'allèle amp2-100) sympatriques. Les études de paternité y ont montré des pourcentages de fécondations xénogames dépassant 10%, pourcentages bien supérieurs à tous ceux publiés (Sène, 1965 ; Steele, 1972 ; Williams et Chambliss, 1980). On peut supposer qu'il en est de même pour les populations septentrionales et que le complexe cultivé-adventice est relativement dynamique.

Chez le niébé, les pollinisateurs ont toutefois plutôt tendance à voler de fleur à fleur de même couleur (Leleji, 1973 ; Rawal *et al.*, 1978). Au Niger, où l'on cultive essentiellement des niébés à graines (et fleurs) blanches, alors que les formes spontanées présentent des fleurs colorées, les flux de gènes doivent être préférentiellement entre formes cultivées d'une part, entre formes spontanées d'autre part. En revanche, dans les zones où l'on cultive des niébés à graines colorées, comme dans les monts Mandara au Cameroun, les flux entre formes cultivées et formes spontanées doivent être importants.

CONCLUSION

Les données, tant moléculaires qu'ethnobotaniques laissent supposer que les formes cultivées du niébé trouvent leur origine dans des formes sauvages du nord-est de l'Afrique. Toutefois, le manque de matériel végétal spontané en provenance de cette zone ne permet pas encore d'aller au delà de la formulation d'une hypothèse.

Par ailleurs, la mise en évidence d'un complexe cultivé-adventice relance la question d'une origine très locale ou d'une origine plus diffuse, d'un centre ou d'un non centre (Harlan, 1971), d'une domestication primaire ou d'une domestication secondaire (Blumler, 1992). Si l'origine des formes cultivées se trouve dans un stock de formes sauvages du nord-est de l'Afrique, deux hypothèses sont ensuite possible :

- la domestication a pu avoir lieu à l'est, avant la migration du complexe cultivé-adventice vers l'ouest (domestication primaire),
- ou la domestication a pu se faire plus à l'ouest, à partir d'un stock adventice ou fourrager (originaire du nord-est de l'Afrique) véhiculé vers l'ouest par l'activité humaine, céréaliculture ou élevage (domestication secondaire).

Les données moléculaires suggèrent actuellement une domestication primaire, mais l'autre hypothèse, formulée par Chevalier dès 1944, n'est pas à écarter totalement. En effet, les paysans ne considèrent pas ces niébés adventices comme des mauvaises herbes mais comme un fourrage très apprécié. La mise en évidence de ce complexe cultivé-adventice peut aussi modifier les stratégies de conservation génétique. Les formes cultivées étaient jusqu'à présent considérées comme extrêmement autogames et parfaitement conservées *ex situ*. L'existence d'un complexe cultivé-adventice relativement dynamique montre que le niébé peut aussi faire l'objet de conservation *in situ*. Les zones à privilégier devraient être celles où l'on cultive des cultivars à graines (et fleurs) colorées, comme le nord des monts Mandara au Cameroun, le bassin du lac Victoria, le sud-est éthiopien ou l'Erythrée, et où les flux entre formes cultivées et formes spontanées sont susceptibles d'être importants.

BIBLIOGRAPHIE

- Aldrich P.R., Doebley J., Schertz K.F., Stec A., 1992. Patterns of allozyme variation in cultivated and wild *Sorghum bicolor*. Theor. Appl. Genet. 85: 451-460.
- Barone A., Del Giudice A., Ng N.Q., 1992. Barriers to interspecific hybridization between *Vigna unguiculata* and *Vigna vexillata*. Sex. Plant Reprod. 5-3: 195-200.
- Blumler M.A., 1992. Independent inventionism and recent genetic evidence on plant domestication. Econ. Bot. 46-1: 98-111.
- Chevalier A., 1944. La Dolique de Chine en Afrique. Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale 24: 128-152.
- Crawford D.J., 1989. Enzyme electrophoresis and plant systematics. In: Soltis, D.E., Soltis, P.S., eds, Isozymes in plant biology: 146-164. Chapman and Hall, London.
- Doebley J., 1989. Isozymic evidence and the evolution of crop plants. In: Soltis, D.E., Soltis, P.S., eds, Isozymes in plant biology: 165-191. Chapman and Hall, London.
- Faris D.G., 1963. Evidence for the west african origin of *Vigna sinensis* (L.) Savi. Ph.D. Dissertation, University of California.
- Harlan J.R., 1971. Agricultural origins: centers and non centers. Science 174: 468-474.
- Kiang Y.T., Chiang Y.C., Doong J.Y.H., Gorman M.B., 1987. Genetic variation of soybean germplasm. In: Crop exploration and genetic resources : 93-99. Taichung District Agricultural Improvement Station, Taiwan.
- Leleji O.I., 1973. Apparent preference by bees for different flower colours in cowpeas (*Vigna sinensis* (L.) Savi ex Hassk.). Euphytica 22: 150-153.
- Lush W.M., 1979. Floral morphology of wild and cultivated cowpeas. Econ. Bot., 33-4: 442-447.
- Maréchal R., Masherpa J.M., Stainier F., 1978. Etude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces des genres *Phaseolus* et *Vigna* (*Papilionaceae*) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. Boissiera 28: 1-273.
- Mithen R., 1989. The african genepool of *Vigna*. I. *V. nervosa* and *V. unguiculata* from Zimbabwe. Pl. Genet. Resources Newsletters 70: 13-19.
- Mithen R., Kibblewhite H., 1993. Taxonomy and ecology of *Vigna unguiculata* (*Leguminosae*, *Papilionoideae*) in South-Central Africa. Kirkia 14-1: 100-113.
- Ng N.Q., 1990. Recent developments in cowpea germplasm collection, conservation, evaluation and research at the genetic resources unit, IITA. In: Cowpea genetic resources, eds. Ng N.Q. and Monti L.M., Ibadan, pp. 13-28.
- Ng N.Q., 1995. Cowpea, *Vigna unguiculata* (*Leguminosae-Papilionoideae*). In : Smartt, J., N.W. Simmonds, eds, Evolution of crop plants ed. 2. Longmans : 326-332.
- Ollitrault P., Arnaud M., Chanterau J., 1989. Polymorphisme enzymatique des sorghos. II. Organisation génétique et évolutive des sorghos cultivés. Agron. Trop. 44-3: 211-222.
- Padulosi S., 1993. Genetic diversity, taxonomy and ecogeographic survey of the wild relatives of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walpers. PhD Thesis, Université catholique, Louvain la Neuve,

pp. 477.

- Panella L., Gepts P., 1992. Genetic relationships within *Vigna unguiculata* (L.) Walp. based on isozyme analyses. Genet. Resources Crop Evol. 39: 71-88.
- Pasquet R.S., 1993a. Classification infraspécifique des formes spontanées de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. à partir de données morphologiques. Bull. Jard. Bot. Nat. Belg. 62-1/4: 127-173.
- Pasquet R.S., 1993b. Variation at isozyme loci in wild *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae, Phaseoleae). Plant System. Evol. 186-3/4: 157-173.
- Pasquet R.S., 1993c. Two new subspecies of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Leguminosae, Papilionoideae). Kew Bull. 48-4: 805-806.
- Pasquet R.S., Fotso M., 1994. Répartition des cultivars de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) du Cameroun : influence du milieu et des facteurs humains. J. Agr. Trad. Bot. Appl. 36-2: 93-143.
- Pasquet R.S., 1996b. Cultivated cowpea (*Vigna unguiculata*) evolution. In Pickersgill, B., Lock, J.M., eds, Advances in Legume Systematics 8 : Legumes of economic importance : 101-108. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Pasquet R.S., 1997. A new subspecies of *Vigna unguiculata* (Leguminosae, Papilionoideae). Kew Bulletin 52 (sous presse).
- Piper C.V., 1912. Agricultural varieties of the cowpea and immediately related species. USDA. Bureau of Plant Industry, Bulletin No. 229. Washington, Government Printing Office: 1-160.
- Potter D., Doyle J.J., 1992. Origins of the african yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*, Leguminosae): evidence from morphology, isozymes, chloroplast DNA, and linguistics. Econ. Bot. 46-3: 276-292.
- Rawal K.M., 1975. Natural hybridization among wild, weedy and cultivated *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Euphytica 24: 699-707.
- Rawal K.M., Bryant P., Rachie K.O., Porter W.M., 1978. Cross pollination studies of male-sterile genotypes of cowpeas. Crop Sci. 18-2: 283-285.
- Schinkel C., Gepts P., 1989. Allozyme variability in the Tepary Bean, *Phaseolus acutifolius* A. Gray. Plant Breed. 102: 182-195.
- Second G., 1985. Evolutionary relationships in the *Sativa* group of *Oryza* based on isozyme data. Génét. Sél. Evol. 17-1: 89-114
- Sène D., 1965. Détermination du taux d'allogamie du niébé (*Vigna sinensis* Savi). First FAO Technical meeting on the improvement of vegetable and grain legume production in Africa, Dakar.
- Singh S.P., Nodari R., Gepts P., 1991. Genetic diversity in cultivated common bean: 1. Allozymes. Crop Sci. 31-1: 19-23.
- Steele W.M., 1972. Cowpeas in Nigeria. Ph. D. Thesis. University of Reading. UK.
- Tostain S., Marchais L., 1989. Enzyme diversity in pearl millet (*Pennisetum glaucum*). 2. Africa and India. Theor. Appl. Genet. 77: 634-640.
- Tostain S., 1992. Enzyme diversity in pearl millet (*Pennisetum glaucum*). 3. Wild millet. Theor. Appl. Genet. 83: 733-742.
- Vaillancourt R.E., Weeden N.F., 1992. Chloroplast DNA polymorphism suggests nigerian center of domestication for the cowpea, *Vigna unguiculata*, Leguminosae. Am. J. Bot. 79: 1194-1199.
- Vaillancourt R.E., Weeden N.F., 1993. Lack of isozyme similarity between *Vigna unguiculata* and other species of subgenus *Vigna* (Leguminosae). Can. J. Bot. 71-4: 586-591.
- Vaillancourt R.E., Weeden N.F., Bruneau A., Doyle J.J., 1993a. Chloroplast DNA phylogeny of old world *Vigna* (Leguminosae). Syst. Bot. 18-4: 642-651.
- Vaillancourt R.E., Weeden N.F., Barnard J., 1993b. Isozyme diversity in the cowpea species complex. Crop Sci. 33-3: 606-613.
- Verdcourt B., 1970. Studies in the Leguminosae, Papilionoideae for the Flora of Tropical East Africa. IV. Kew Bull. 24: 507-569.
- Weeden N.F., Wolko B., Vaillancourt R., 1996. Contrasting patterns of partitioning genetic diversity in cultivated legumes. In Pickersgill, B., Lock, J.M., eds, Advances in legume systematics 8: legumes of economic importance : 1-9. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Westphal E., 1974. Pulses in Ethiopia, their taxonomy and agricultural significance. Agricultural Research Reports 815. Centre for agricultural publishing and documentation, Wageningen.
- Williams C.B., Chambliss O.L., 1980. Outcrossing in southernpea. Hortscience 15-2: 179.

ETUDE DES FORMES SPONTANÉES ET CULTIVÉES D'*HEDYSARUM CORONARIUM* L. ANALYSE MORPHOLOGIQUE, ENZYMATIQUE ET MOLECULAIRE

Trifi-Farah N. et Marrakchi M.

Laboratoire de Génétique. Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie

L'Hedysarum coronarium est une légumineuse de la famille des papilionacées, appelée couramment Sulla ou Sainfoin d'Espagne. C'est une plante diploïde faisant partie du groupe Méditerranéen dont les espèces présentent un nombre chromosomique de base $n = 8$. A l'état spontané, *H. coronarium* L. se localise dans les zones méridionales de la moitié occidentale du bassin méditerranéen sur des sols argilo-limoneux bien drainés (Boussaïd *et al.*, 1996). Le Sulla est préférentiellement allogame avec un faible degré d'autogamie (10%) (Chriki *et al.*, 1986). Une protandrie marquée caractérise l'espèce. En Tunisie, on la rencontre dans plusieurs stations naturelles situées au nord où elle occupe tout le Tell à partir de 300 mm de pluies et jusqu'à 1 000 m d'altitude. L'espèce pousse sur des terres lourdes du type marne. Les plantes ont en général un système aérien au port prostré ne dépassant pas une hauteur moyenne de 30 cm. Ces plantes spontanées sont exploitées aussi bien pour la pâture que pour la protection du sol dans les pentes marneuses où le Sulla se resseme naturellement. De plus, le Sulla présente une valeur nutritive comparable à celle d'autres légumineuses en particulier le trèfle violet et la luzerne (Ballatore, 1972 ; Cenni *et al.*, 1968).

Parmi les espèces du genre, seule *H. coronarium* a subi la domestication. Les premières cultures ont été effectuées depuis le XVIII^e siècle en Italie du sud. De nombreux cultivars ont pu être obtenus : Scaravatti, Sparatia, Grimaldi. En Tunisie, l'utilisation de cultivars d'origine italienne, essentiellement la variété Grimaldi, a permis de l'exploiter en tant que plante fourragère mellifère pouvant également contribuer à la valorisation des jachères. Les variétés cultivées sont utilisées en affouragement en vert, en foin ou en ensilage pour un rendement fourrager de l'ordre de 90 tonnes de poids frais par hectare. Le rendement grainier est de 5 quintaux par hectare (Trifi-Farah *et al.*, 1986b). Malgré son importance agronomique, la culture du Sulla reste néanmoins peu répandue en Tunisie où elle n'occupe que quelques milliers d'hectares au nord du pays. Pour promouvoir une meilleure extension de sa culture, l'évaluation des ressources génétiques des populations naturelles locales en comparaison avec les cultivars d'origine italienne, permet de rechercher des phénotypes qui s'adaptent le mieux aux conditions climatiques et pédologiques de la Tunisie.

ANALYSE DE LA VARIABILITE MORPHOLOGIQUE

Plusieurs prospections à travers le territoire tunisien ont permis la collecte de différents écotypes. Les données issues de l'étude des caractères morphologiques ont été traitées par une analyse en composantes principales. Il en ressort une importante variabilité génétique des populations en fonction de l'origine géographique. Par ailleurs, une opposition apparaît clairement entre les populations spontanées et les cultivars. En effet ces deux formes présentent deux types architecturaux contrôlés génétiquement : l'un à tendance plagiotropique, l'autre à tendance orthotropique. Les variétés cultivées plus érigées que les formes spontanées sont caractérisées par un bon développement végétatif. Aussi remarque-t-on que la population cultivée de Béja ne se rapproche pas de la population spontanée locale (Trifi-Farah *et al.*, 1986b).

ETUDE DU POLYMORPHISME ENZYMATIQUE

Les caractères enzymatiques peu influencés par le milieu fournissent une indication plus réelle sur la diversité génétique des populations. Les données génétiques obtenues sur les dix systèmes enzymatiques analysés ont permis de détecter 38 locus. Les fréquences alléliques correspondantes ont été utilisées pour analyser le polymorphisme enzymatique chez les différentes populations spontanées et les cultivars (Trifi-Farah *et al.*, 1986a).

L'utilisation de paramètres de structure et de diversité intra-population (écart à la panmixie, taux de polymorphisme, diversité génétique de Nei...) confirme la présence d'un polymorphisme important

chez les populations cultivées et spontanées sans pour autant en distinguer deux groupes différents. Seule la population de Tunis semble être plus polymorphe : elle serait une population composite étant donné que la station où elle a été collectée présente à son voisinage des essais expérimentaux sur d'autres populations ; ceci suppose un brassage génique entre elles.

Pour étudier la variabilité inter-populations, les distances génétiques permettent d'évaluer le degré de ressemblance ou de dissemblance entre plusieurs populations. Les dendrogrammes obtenus à partir des matrices des distances (de Nei, d'Arc, de Corde, de Rogers, de Wright et d'Edwards) sont similaires pour les six distances utilisées. Leur analyse montre un rapprochement des deux formes spontanées et cultivées sur le plan enzymatique. En effet, nous avons révélé un polymorphisme enzymatique important chez les différentes populations spontanées et cultivées avec une absence de regroupements particuliers liés à l'origine géographique.

Les faibles différences génétiques observées entre les deux formes peuvent s'expliquer par le mode de reproduction, préférentiellement allogame chez cette espèce, qui faciliterait les échanges géniques entre elles (Chriki, 1986).

En conséquence, les résultats du polymorphisme enzymatique ne permettent pas de séparer les formes spontanées des formes cultivées, alors que les caractères morphologiques distinguent nettement ces deux formes. Les différences entre les résultats qui découlent de chaque étude s'expliquent par le fait que les deux types d'analyses impliquent deux niveaux de complexité du phénotype qui subit l'influence de forces évolutives différentes. Les cultivars d'origine italienne sont aussi variables que les populations spontanées locales, toutefois leurs caractéristiques agronomiques semblent être bien fixées.

ANALYSE DU POLYMORPHISME DE L'ADN

L'analyse par RFLP du polymorphisme de l'ADN génomique des formes spontanées et cultivées a été réalisée en utilisant des sondes ribosomales. Ces sondes dérivées de r-DNA permettent une description très fine de la variabilité génétique par un marquage direct du génotype (Amarger et Mercier, 1996). Nous avons observé un faible polymorphisme concernant les sondes correspondant aux régions codantes 18S et 26S, ceux-ci étant très conservés entre les espèces.

Les sondes qui correspondent à la région non transcrite sont très performantes. En effet, l'espaceur intergénique, très polymorphe, est utilisé en analyse par RFLP pour estimer le polymorphisme intraspécifique de *H. coronarium* et établir les relations entre les formes spontanées et cultivées. L'hybridation des ADN génomiques des différentes populations spontanées et des cultivars a montré un polymorphisme des sites de restriction. Ceci reflète la variation de la longueur de l'espaceur intergénique en rapport avec les possibilités d'insertions ou de délétions résultant de crossing-over inégaux. Par ailleurs, les cultivars se sont avérés aussi polymorphes que les populations spontanées.

La domestication des cultivars ne s'est traduite ni par une perte de leurs caractéristiques agronomiques en l'occurrence un bon développement végétatif, ni par une différenciation avec les formes spontanées locales.

La conception de la gestion des ressources génétiques impose une approche globale de la variabilité génétique des populations étudiées. Les différents travaux d'évaluation réalisés ont ainsi offert une connaissance plus précise de l'organisation polymorphe des populations spontanées, de la domestication et des couplages entre formes spontanées et formes cultivées. En effet, les formes cultivées et spontanées, morphologiquement distinctes, voisinent en général et de nombreux échanges géniques peuvent se produire.

BIBLIOGRAPHIE

- Amarger V et Mercier L., 1996. Nuclear ribosomal DNA unit length variation: a putative marker of genetic diversity in jojoba. *Int. J. Plant Sci.* 153(3), 296-302.
- Ballatore G.P., 1972. La produzione foraggera negli ambienti semi aridi, con particolare riferimento alla Sicilia. *L'inf. Agrario*: 27, 7453-7464.
- Boussaid M., Ben Fadhel N., Trifi-Farah N. et Marrakchi M., 1995. Les espèces méditerranéennes

du genre *Hedysarum*. Ouvrage intitulé : Ressources génétiques des plantes fourragères et à gazon. Ed. INR et BRG, France : 115-130.

- Cenni B., Jannella G.G. et Colombani N., 1968. Chemical composition, digestibility and nutritive value of sulla (*Hedysarum coronarium* L.) hay produced in volteva district. Ann.Fac. Med. Vet. Univ.Pisa: 20, 155-168.
- Chriki A.,1986. L'hérédité des anthocyanes florales chez *Hedysarum coronarium* L., *H. carnosum* Desf. et *H. capitatum* Desf. Asch et Gr. Thèse Doctorat d'état, Université de Pau et des pays de l'Adour : 229 p.
- Trifi-Farah N., Chatti W.S., Marrakchi M. et Pernes J.,1989a. Déterminisme génétique de dix systèmes enzymatiques chez *Hedysarum coronarium* L. Agronomie : 9, 503-510.
- Trifi-Farah N., Chatti W.S., Marrakchi M. et Pernes J.,1989b. Analyse de la variabilité morphologique et enzymatique des formes cultivées et spontanées de *Hedysarum coronarium* L. en Tunisie. Agronomie : 9, 591-598.

FORUM

LES EFFORTS DE CONSERVATION *IN ET EX SITU* DES POPULATIONS DE DOUENTZA ET DE LEURS PARTENAIRES ONG USC-CANADA/GUAMINA/ARAFED

Fofana M.

USC - Canada, Mali

PROBLEMATIQUE

On observe :

- Un déficit pluviométrique constant dû aux changements climatiques.
- Un déficit céréalier d'environ 12 000 tonnes/an, même en année de bonne pluviométrie.
- Un exode rural manifeste touchant les deux sexes et pour environ 40% de la population active.
- Des sols fortement érodés à cause de leur nature, de la nature torrentielle des pluies et de la toposéquence des terres.
- Une forte pression sur les ressources naturelles notamment pour l'agriculture et l'élevage.
- De fréquents conflits socio-professionnels pour l'occupation de l'espace.

Face à cette problématique, plusieurs questions ont été posées parmi lesquelles :

- a) Comment faire en sorte que les populations puissent mieux tirer profit des ressources naturelles sans compromettre leur capacité de production ?
- b) Comment atténuer le déficit céréalier structurel en partant du savoir-faire et du savoir-être des populations ?

Pour répondre à ces questions qui touchent tous les domaines d'activités des populations, l'approche-terroir et le diagnostic participatif ont été adoptés comme méthodes d'intervention.

OBJECTIFS DU PROJET

- Développer dans dix huit sites spécifiques du Cercle de Douentza la capacité des populations à gérer leurs terroirs de façon à les restaurer, les conserver et en augmenter le rendement pour en retirer un plus grand bien-être socio-économique.
- Développer dans les dix villages des disponibilités alimentaires sûres et abondantes en améliorant le fonds de réserve génétique et les moyens de production des agriculteurs.
- Favoriser la conservation, l'utilisation, l'amélioration et la diffusion par les agriculteurs eux-mêmes de la diversité génétique des principales cultures agricoles (mil, sorgho, maïs, niébé, vandezou) et des plantes fourragères et forestières (*Acacia albida*, *Acacia nilotica*, *Tamarindus indica*, *Adansonia digitata*).
- Offrir le soutien technique nécessaire à la conservation, à l'amélioration, à l'entreposage et à l'utilisation par les agriculteurs des variétés traditionnelles en rapport avec les savoir locaux au Mali et à ailleurs en Afrique (Togo, Burkina Faso, Sénégal, Ethiopie).

VOLETS D'ACTIVITES

Neuf volets spécifiques d'intervention sont mis en oeuvre. Il s'agit de :

- Conservation des sols et agroforesterie.
- Maraîchage et arboriculture.
- Conservation des semences traditionnelles et biodiversité.
- Gestion de banques de céréales et fourniture de prêts-d'équipements agricoles.
- Information, éducation et communication.
- Alphabétisation fonctionnelle.
- Appui aux activités génératrices de revenus des femmes.

- Hydraulique villageoise, hygiène et assainissement.
- Encadrement et suivi.

Cette approche globale part du constat que les problèmes de développement de la localité sont variés et connexes.

S'agissant de nos efforts de conservation *in* et *ex situ*, les activités suivantes ont été menées :

- Suivi de 25 paysans dans leurs itinéraires techniques de production.
- Collection d'échantillons de toutes les variétés existantes, en culture ou conservées. Cela a porté sur 41 agro-écotypes de sorgho et 11 de mil.
- Identification et caractérisation des variétés avec l'appui de la Recherche Nationale.
- Elaboration de protocoles de recherche avec l'appui de la Recherche.
- Traduction des protocoles de recherche en dialectes locaux Dogon.
- Evaluation multilocale des variétés dont le suivi est assuré par des animateurs villageois, néo-alphabètes.
- Organisation de journées portes-ouvertes regroupant les représentants de 18 villages pour choisir les variétés performantes en fonction des critères choisis par les paysans eux-mêmes.
- En perspective, nous voulons multiplier les variétés choisies en rapport avec des paysans semenciers qui se spécialiseront dans cette filière.

En plus de ces actions *in situ*, quelques activités *ex situ* ont également été réalisées. Il s'agit de :

- la création d'une banque locale de gènes,
- la création d'un arboretum dans l'enceinte d'une école fondamentale.

Enfin, afin d'accroître le rôle pollinisateur des plantes par les abeilles, 63 ruches améliorées ont été installées au bénéfice des populations.

APPROCHE DE GESTION DES RESSOURCES PHYTOGENETIQUES, AXEE SUR LE PRODUCTEUR ET BASEE SUR LA PARTICIPATION POPULAIRE

Notre conception de la gestion durable des ressources phytogénétiques passe par une approche intégrée et le changement de comportement à l'égard de ces ressources. Cette approche passe nécessairement par une adoption de méthodes culturelles adaptées, une information/sensibilisation et animation à tous les niveaux (décideurs, agents de développement et populations de base), la lutte préventive contre le déboisement et les feux de brousse, l'exploitation rationnelle des troupeaux souvent en surnombre et au contact des zones à écologie précaire, le reboisement en essences locales et la pratique d'une agriculture biologique portant sur la valorisation des semences autochtones.

La méthode participative de recherche et d'animation que nous utilisons pour soutenir l'adhésion populaire est le Diagnostic Participatif (DP), une activité informelle, systématique et progressive d'apprentissage du milieu rural dont l'objectif est de renforcer les capacités des paysans et de leurs organisations à analyser leur milieu et à garder l'initiative face aux mutations en cours dans leur environnement.

Par une interaction dynamique entre des études qui décrivent le cadre de référence du milieu, des activités de recherche-action à caractère social et économique portant sur les itinéraires techniques de production, l'évaluation multilocale des écotypes locaux et la diffusion des variétés performantes et moins exigeantes, cette approche devait permettre le renouvellement du système d'exploitation de l'espace pour en assurer la restauration, la conservation ultérieure et même l'augmentation du rendement.

Tout cela doit être sous-tendu par un processus permanent de réflexion avec l'ensemble des intervenants. L'approche USC-Canada privilégie la prise de conscience par les populations de l'inadéquation entre le système actuel d'exploitation de l'espace et les potentialités existantes.

RESULTATS OBTENUS

De cette approche globale et participative, quelques résultats ont été obtenus :

- Cadre de complémentarité instauré entre Intervenants autour du programme : ONGs de la Place, Services techniques de l'Etat, USC-Mali-Guamina-ARAFD-RADI (Sénégal), Amis de la Terre (Togo), FRAO (Sénégal), IER - IPR (Katibougou).
- 5 000 m de digues protégeant 1 000 ha de cultures.
- 10 000 rejets naturels d'*Acacia albida* protégés dans les champs dans les 5 villages contribuant à l'accroissement de la fertilité des sols et de la productivité.
- 5 périmètres maraîchers et arboricoles totalisant 20 ha avec plus de 1 200 plants fruitiers.
- 3 000 foyers améliorés vulgarisés et utilisés sur une base régulière.
- 41 écotypes locaux de sorgho en voie d'évaluation multilocale.
- 11 écotypes locaux de mil en voie d'évaluation multilocale.
- 25 paysans suivis dans leurs itinéraires techniques de production en vue de la vulgarisation de méthodes culturelles adaptées.
- 8 Comités Villageois de Développement (CVD) fonctionnels.
- Plus de 30 Comités sectoriels en voie d'intégration en CVD.
- 3 Schémas d'Aménagement de Terroirs réalisés et maîtrisés par les populations et 5 autres en cours de réalisation.
- 1 journal édité en deux dialectes Dogon.
- 10 centres fonctionnels d'alphabétisation totalisant plus de 300 auditeurs dont 60% d'enfants et 30% de femmes.
- 63 ruches améliorées installées produisant du miel de qualité et contribuant à la pollinisation des espèces allogames.
- 1 arboretum installé à l'école de Gono conservant 50 espèces végétales et assurant une formation pratique à 142 élèves dont l'âge varie entre 7 et 12 ans.
- Plus de 1 000 tamis filtres vulgarisés contre les maladies liées à l'eau.
- Plus de 30 puits domestiques et maraîchers réalisés.
- 2 banques de céréales fonctionnelles.
- 1 musée villageois fonctionnel (le 1er au Mali).
- Plus de 3 000 000 F CFA de fonds à caractère de remboursement en circulation et gérés par les communautés elles-mêmes.
- 1 banque communautaire de gènes, installée et gérée par les populations elles-mêmes et comprenant les semences de 11 écotypes de mil, 41 écotypes de sorgho, 56 espèces forestières locales et 9 autres espèces cultivées dans la zone.

KEEPING DIVERSITY ALIVE: SoS/E's EXPERIENCE

Worede M.

Seeds of Survival Programme, USC-Canada, Ethiopia

ABSTRACT

In Ethiopia, a region representing a major world gene centre, the various traditional agro-ecosystems constitute major *in situ* repositories of crop genetic diversity. Maintenance of species and genetic diversity in the field in this way is one of effective strategies to create stable systems by resource-poor farmers practicing low-input agriculture in marginal environments. The existence of such native germplasm is also crucial to sustained provision of useful genetic material to breeding programmes world wide. The paper describes the role of biodiversity in Ethiopian agriculture, also highlighting the various factors that account for the maintenance of diversity on peasant farms. The major threats of loss of genetic diversity are discussed, particularly in the context of agricultural modernization and environmental degradation now in progress in the country. The activities of the Seeds of Survival Programme/Ethiopia which primarily represents a participatory, dynamic, farmer-based approach to crop genetic resource (landrace) conservation, enhancement and utilization are described, emphasizing the collaborative role peasant farmers and scientists play in this regard in Ethiopia.

INTRODUCTION

Ethiopia is a major world centre of genetic diversity for many important domesticated crop plant species such as sorghum, barley, teff, chick peas, coffee, largely represented in the country by landraces (and wild types) which are uniquely adapted genetically diverse forms of these various crops. The genetic diversity found in Ethiopian landraces has been used world-wide as a source in developing new crop varieties, or in solving stresses representing acute yield constraining problems. Much of this crop diversity is found in small fields of peasants who, aided by nature, have played a central role in the creation, maintenance and use of this invaluable resource. Peasant farmers in Ethiopia translate their deep understanding of different plants and animals, or the general biology of their surroundings, and their use to farming systems which are best much adapted to their own circumstances.

The existence of genetic diversity has special significance to maintenance and enhancement of productivity in agricultural crops in a country like Ethiopia which is characterized by highly varied agro-climatic and diverse growing conditions. Such diversity provides security for the farmer against diseases, pests, drought and other stresses. It would also allow farmers to exploit the full range of the country's highly varied micro-environments differing in characteristics such as soil, water, temperature, altitude, slope and fertility.

Diversity among species is especially significant to Ethiopia as it represents an important subsistence resource to farming communities in the country. A wide variety of plant and animal species provides material for food, feed, fibre and for medicinal and various other socio-economic uses. Such diversity is also crucial to sustenance of current production systems, improve human diets, and sustain life support systems essential for the livelihood of local communities.

Maintenance of species and genetic diversity in fields is, therefore, crucial to sustainable agriculture, especially for resource-poor farmers practicing agriculture under low-input conditions in marginal lands. Genetic resource activity already represents a major national effort that Ethiopia has undertaken systematically over the last 17 years or so (Worede, 1991). The existing options pose a serious challenge, requiring major inputs in terms of technical know-how and material. There is also a unique opportunity to conserve landraces in a dynamic state, on peasant farms. These are materials which peasant farmers have developed and maintained since time immemorial, and which at present provide a major portion of the existing crop genetic resources.

In this review, an attempt is made to describe the existing farmer-based approach to conservation and use of crop genetic materials which the Seeds of Survival Programme/Ethiopia (SoS/E) has

undertaken in partnership with the former Plant Genetic Resources Centre/Ethiopia (PGRC/E), now Bio Diversity Institute (BDI/E), since its inception in 1988 as a USC/Canada supported programme.

The cooperative role farmers, scientists, and local extension agents play to make this relevant to food and livelihood security of small-scale farmers, and the growing urban populations of the country are described. The importance of crop genetic diversity in sustaining productivity and the livelihoods of resource poor farmers working under adverse growing conditions, and the risk of genetic erosion, are also discussed.

FARMERS: KEY PLAYERS IN SUSTAINING DIVERSITY

In Ethiopia, traditional farming represents centuries of accumulated experience and skills of peasants who often farmed under adverse conditions using locally available resources that often translated into sustained yields. The basis for this are the traditional crops and their landraces¹ which farmers have adapted over centuries of selection and use to meet dynamic and changing needs (Worede, 1993_b). Ethiopian farmers are also instrumental in conserving germplasm as they control the bulk of the country's Genetic Resources (GR). Peasant farmers always retain some seed stock for security unless circumstances dictate otherwise. Even when forced to temporarily leave their farms because of severe drought or other threats like war, farmers often stored small quantities of seed stock. They usually employed various containers such as clay pots or rock hewn mortars (in northern Shewa, for example) that were sealed and buried in an inverted position in a secured place on the farm. In various regions of the country, farmers also have well-established systems of ensuring sustenance of seed supply and they often operate in networks. This includes exchange of seed in local markets of crop types with a wide range of adaptation to diverse environments.

This diversity provides the farmer with a wider choice of planting material to suit a particular set of agro-climatic conditions. The rest of the seed can be saved for a more appropriate and safe planting season. In some of the more developed regions of Ethiopia like the central highlands, this practice is becoming less and less common with the availability of new, improved cultivars. In most of the drought prone areas, particularly in northern Shewa and Welo regions, farmers still depend largely on the above-mentioned traditional system of ensuring sustained supply of adaptable planting material (Hailu Getu, 1991, personal communication).

Ethiopian farmers have been instrumental in creating, maintaining and promoting crop genetic diversity through a series of other long-standing activities. On many peasant farms in the country, cultivated crops often inter-cross with their wild or weedy relatives, growing in the same field or in nearby fields. This results in new genetic combinations that farmers can use to meet agro-ecological realities. Similarly, small farmers in various regions of Ethiopia quite frequently practice intercropping, or even grow their crops in mixtures, to stabilize their crop production, especially under adverse growing conditions. Genetic introgression within these mixes leads to rapid diversification among the included species. This has apparently happened in the Brassicas where new and different characteristics occur in *Brassica carinata* (Ethiopian mustard) and *Brassica nigra* (black mustard) on farms where such crops are grown in mixtures (Worede, 1987).

With coffee (*Coffea arabica* L.), farmers often plant populations of local types on small areas adjacent to the more uniform Coffee Berry Disease (CBD) resistant lines which are distributed by the Coffee Improvement Project in Ethiopia. This is a tremendous support for BDI/E efforts to maintain germplasm of this crop in the field because it is difficult to safely store on a long-term basis as seed.

The BDI/E has also benefitted from the knowledge and skills of farming families collaborating in Genetic Resources activities, especially in collecting and rescuing of germplasm and identification of useful plant material. This has already contributed to the availability of information on the country's crop germplasm resources that these farmers have developed and maintained for many generations.

¹ Landraces are crop plant populations that have not been bred as varieties but have been adapted through years of natural and artificial selection to the conditions under which they are cultivated. They could also be referred to as « folkseeds » to reflect the role of local communities in selection and innovation. See also the final consensus Report of the Keystone International Dialogue Series on Plant Genetic Resources, Madras Plenary Session, Second Plenary Session, 29 Jan., - 2 Feb. 1990, Madras, India.

THREAT OF GENETIC EROSION

The broad range of genetic diversity existing in Ethiopia, particularly the primitive and wild gene pools, is presently subject to serious genetic erosion and irreversible losses. This threat, which involves the interaction of several factors, is progressing at an alarming rate. The most crucial ones include displacement of indigenous landraces by new, genetically uniform crop cultivars, changes and development in agriculture or land use, destruction of habitats and ecosystems, and drought.

The drought that prevailed in the regions of Wello, parts of Shoa and Northern Ethiopia has directly or indirectly caused considerable genetic erosion, and at times has even resulted in massive destruction of both animals and plants. The famine that persisted in some parts of the country has forced farmers to eat their own seed in order to survive or to sell seed as a food commodity. This often resulted in massive displacement of native seed stock (mostly sorghum, wheat and maize) by exotic seeds provided by relief agencies in the form of food grains. Rescue operations were, however, undertaken by the PGRC/E during this period (1987-88) and a strategic seed reserve programme launched, in areas subject to recurring drought). The extent to which the displacement of native seeds by exotic/improved materials occurs has not yet been fully documented. This would also vary between regions and crops. In many cases, farmers still plant both types interchangeably or alongside each other, at times in mixtures, depending on their particular need, market demand, or other prevailing situations.

In general, native barley and durum wheat are probably among the most threatened by new improved/introduced varieties and/or by other crop species such as teff and bread wheat, which are expanding within the cereal growing highlands of Shewa, Arsi and Bale regions, because of greater market demand. Similarly, in the central highlands, including the northern Shewa and Gojam regions, introduced varieties of oats are expanding rapidly, often replacing a wide range of cereals, legumes, and pulses grown in these areas. With sorghum and millets, exotic varieties do not pose any immediate threat because expansion of such materials is at present somewhat restricted. In the case of sorghum, however, genetic erosion is progressive on account of extensive selection based on breeding of the native populations. A similar situation exists also with the various pulses, legumes, and oil crops grown in the country, where the bulk of the material utilized in breeding programmes is represented by indigenous landrace populations.

NEED FOR RESEARCH TO CONSERVE AND ENHANCE IN-FIELD DIVERSITY

The maintenance of species and genetic diversity in fields is an effective strategy that Ethiopian farmers have long adapted to sustain a stable system of conservation for low input agriculture. *In situ* (on-site) conservation of landraces² on peasant farms, which Don Duvick (1991, personal communication) calls « evolutionary conservation », would, therefore, provide a valuable option for conserving crop diversity (Worede, 1991). More importantly, it will help sustain the evolutionary systems that are responsible for generation of genetic variability. This is especially significant in regions of the country subject to drought and other stresses, because it is under such environmental extremes that variations useful for stress-resistance breeding are generated. In the case of diseases or pests, this would allow continuing host-parasite co-evolution.

Also under these conditions, access to a wide range of local landraces would probably provide the only reliable source of planting material. The ability of landraces to survive under these stresses is conditioned by their inherent broad genetic base. This is often not the case with the more uniform, new or improved cultivars which, despite their high yield potential, are less stable and not as reliable as sources of seed under the adverse growing conditions generally present in many of the drought-prone regions of Ethiopia.

Landrace evaluation and enhancement programmes will certainly be needed to stimulate a more extensive utilization of germplasm resources that are already adapted to these regions. Also, under

² *In situ* conservation seen in this context relates to maintaining traditional cultivars or landraces in the surroundings they have been adapted, or the farming systems under which they have acquired their distinctive characteristics.

such extreme environments, locally adapted landraces would provide suitable base materials for institutional crop improvement programmes. There is, therefore, an outstanding need to maintain landraces growing under these conditions in their dynamic state, and this is probably best achieved through farm or community-based conservation programmes.

Some of this work was started in 1988 in Ethiopia by PGRC/E with USC/Canada funding support and has been in progress as SoS/E Programme in Ethiopia (Worede, *ibid*). The programme has various aspects and primarily represents a participatory, dynamic, farmer-based approach to landrace conservation, enhancement and utilization; and its activities are linked to the more formal off-farm conservation activities at the national gene bank. The work is carried out on small scale peasant farms in collaboration with local farmers, scientists and local extension agents. Two major types of farm-based conservation activities are involved: conservation and enhancement of native seed stock (landraces); and maintenance of indigenous landrace selections (elite materials) on selected farms (Worede, 1992). The salient features of these and other related activities which were relatively recently initiated are described below.

LANDRACE CONSERVATION AND ENHANCEMENT ON THE FARM

This aspect of genetic resource activity involving farmers, scientists, and local extension workers has been in progress since 1988 and is now expanding within a network of selected farms at strategic sites in north-eastern Shewa and Welo, in areas where the native seeds are still widely grown³. SoS/E provides financial and technical support provided by its local scientific and field staff. This approach was designed primarily to maintain crop diversity in a dynamic state on peasant farms with a view to protecting major cultivars from disappearing as well as improving their genetic performance. For this purpose, plant materials are collected from the above-mentioned regions and given to farming families, which were initially selected and organized through their respective farmers' cooperatives. These farmers plant the cultivars and, together with SoS/E scientists, practice simple forms of mass (and in some cases stratified) selection to improve their performance in yield and other characteristics of local importance.

Selection activities practiced by the farmer are usually carried out at heading time when differences among plant types are most discernible. Selection within cultivars or subraces as in sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, is based on disease or pest resistance, size of kernel, earliness and various other specific characters of adaptation. The farmers normally do this by applying their good judgment based on their long-established skills. The BDI scientists provide a standard descriptor list developed by the Institute that the farmer is working with. Farmers also rogue out diseased and otherwise undesirable plants before anthesis. Seeds of selected plants are bulked to form a slightly improved population which is included in plantings for seed increase and continued selection. Women farmers play a key role in the selection activity. About 500 farmers have already shared seeds developed in this way, and contractually multiplied for further distribution. The number of farmers having access to these materials may grow to 20 000 by year 1997. Many of the sorghum landrace and locally adapted maize jointly selected with farmers have exceeded the original seeds, all with no additional external inputs (Ataro *et al.*, 1994). They are expanding into areas of the above regions, where frequent crop failures have occurred due to prevailing droughts. To date, 3 102 farmers are using the sorghum and 2 999 the maize.

The bulk of the original seed is conserved *in situ*, employing the traditional cultural practices or farming systems to optimize it, which will provide a back-up for the elite seeds, also complementing the off farm *ex situ* conservation at the national gene bank (BDI). A network of locations for the *in situ* conservation is also being established across a range of agro-ecological niches (Table 1), on the basis of the strategies farmers employ to spread their risks across location and time⁴. Representative samples are stored at the national gene bank, and further evaluated for various characteristics useful in

³ The crops include sorghum, locally adapted maize and various pulses.

⁴ Worede, M. (in press) Ethiopian *in situ* conservation, In: Plant Genetic conservation: The *in situ* Approach ed. N. Maxted, B-Ford-Iloyd and J. Hawkes, Chapter 15; published by Chapman & Hall.

local and institutional crop improvement, also benefitting, in this respect, the elite landrace materials that are now expanding.

Table 1: Distribution of Sorghum *in situ* Conservation Farms across a range of agro-ecological niches in Wello Region*.

Location	1993/94	1994/95	1995/96
Laygnaw Attaye	2	7	-
Merewa Adere	2	2	-
Hora Dildye	1	-	-
Kemisse	1	3	1
Terefo	2	5	23
Fontanina	1	5	-
Chefe Mesendi	-	3	9
Kedida 02 Albuko	-	5	-
Kedida 02	2	12	5
Loga Haik	2	1	-
Batti	2	2	1
Kobbo	2	2	8
Ashenge	2	-	-
Korem	1	-	-
Bizet	1	-	-
Agulla	1	-	-

* Seed not planted the following season on a given location is stored safely for another planting season while the same landrace is planted else where along the range of locations the farmers spread their risk.

MAINTENANCE OF ELITE INDIGENOUS LANDRACE SELECTIONS ON PEASANT FARMS

Another aspect of the SoS/E programme deals with the restoring of landraces to regions where farmers had once planted them extensively but where they had been replaced by new, exotic or improved (high input) varieties. In the region of Ada, Central Shewa, for example, the indigenous durum wheat has nearly disappeared because of displacement by introduced bread and durum wheat varieties. In this area farmers (the women) traditionally used the local durum to make porridge, « enjera », unleaved bread, home made beer, sold or exchanged them at the local markets. They rarely use bread wheat for themselves; rather, they sell it as a commodity crop to the cities.

SoS/E has been active in promoting the conservation, enhancement and utilization of indigenous durum wheat in these and other areas in Central Shewa, and utilizes materials upgraded on a continual basis to improve their competitiveness. The selection/enhancement work is carried out in through collaboration between Debre Zeit Agricultural Research Centre (AUA) and SoS/E scientists. In this programme tetraploid wheat (*Triticum durum*) elite indigenous plant materials (composites of 2 or more agro types) are maintained/multiplied on peasant farms, for distribution. These materials are developed from plant populations subjected to modified mass selection based on performance in yield tests under different conditions of environmental stress. Genetic lines (agrotypes) are bulked for further selection, multiplication and distribution to farmers (Tessema, 1987). The programme utilizes BDI wheat collections as well as materials collected during the last 12 years by the durum wheat breeding team of the Debre Zeit Agricultural Research Centre (AUA) in close collaboration with the Institute.

Some landrace selections (composites) of wheat developed in this way have been more productive in preliminary yield trials than released cultivars (Tesfaye Tessema, 1987, personal communication). Considerable progress has also been made in yield improvement over the past 5 years through further selection from some of the better landrace materials. Grown without the use of commercial fertilizers and other chemicals, these composites exceeded their high input counterparts, represented by the improved, high yielding varieties (IHYV) on the average by 10-15% and the local cultivars (landraces) by 20-25% (Anonymous, 1996). The performance in yield of these elite durum wheat landrace selections on the peasant farms were astoundly high as compared to either the original

farmer's seed (maintained *in situ*) or the IHYVs during the 1994/95 cropping season (Tessema, 1996). On one peasant farm in Godino area, in Central Shewa, for example, the top yielding composite out-performed the local landrace by 37% and the IHYV by 40% while no important difference was observed in yield between the latter two (Table 2).

Table 2: Yield Estimate of Elite Wheat Landrace Selections (composites) at Godino 1994/95 Crop Season. (Source: Tesfaye Tesemma, 1996, *ibid*)

Entry N°	Samples						Average Yield (kg./ha)**
	1	2	3	4	5	6	
3	1000	1120	1750	1750	1750	2250	1603,33
5	1750	1500	1620	2500	1500	3370	2040,00
7	1820	2120	1320	1750	1250	1370	1605,00
9	1370	1250	1370	1370	1370	1250	1330,00
12	1250	1500	1500	1250	1000	1620	1353,33
16	1100	1100	1250	1500	1250	1620	1303,33
20	1600	1500	1250	1380	1250	1250	1371,67
24	2250	1125	1500	1750	1370	1250	1540,83
30	1060	1350	2120	1870	1620	1370	1565,00
31	2250	2120	1320	1380	1820	2000	1815,00
32***	1000	1250	1500	1500	1620	2050	1486,67
33	1000	1250	1620	1500	1620	2250	1540,00
IHYV*	1500	1500	1600	1250	1750	1120	1453,33
Mean							1539,04
S.E.							192,80
LSD(0,05)							381,17
CV							12,52

*IHYV: Improved, high input variety

** Figures in brackets indicate ranking in terms of yield levels

*** Original farmer's seed grown *in situ*

Date planted = July 10-15, 1994 - Date harvested = December 21, 1994 - Previous crop = Vetch and chick peas

Similarly, in Deka Bora, Central Shewa (Table 3), the top yielding composite out-yielded the IHYV and the local cultivar (maintained *in situ*) by 127% and 80%, respectively. The yield performance of all the composites exceeded those of the IHYVs/ local cultivars on the average by 7-15%.

The IHYVs were poorly adapted to the adverse growing conditions that prevailed during the growing period, especially to the drought and frost incidences that occurred at the heading stage; water logging which occurred earlier, affecting the plants at the seedling stage, might also have contributed to the low yield in these exotic seeds. This is often the case with most of the improved, high input exotic varieties grown in the area which were developed mainly for broad adaptation, with narrow genetic base, and quite frequently fail to niche into the set of environmental conditions that are specific to the small peasant farms. These and other factors including the cultural methods employed by the farmers are important considerations for a more objective study of the potential of the IHYVs.

The farmers will continue to multiply and use the composites that are best suited to their conditions along with other entries provided by the national breeding programmes. This would allow the farmer to critically evaluate the source of planting material, which now consists largely of relatively poorly adapted cultivars distributed to the farms in the region. It also encourages the farmer to make continued use of landraces, and ensures effective utilization of superior germplasm, avoiding the threat of losing unexplored germplasm represented by the indigenous population.

The original farmers seed stock is conserved *in situ*, following the same strategies described for sorghum/maize above. BDI scientists also collect representative sample for storage at the national gene bank, and characterized/evaluated for use in local/institutional crop improvement.

Table 3: Yield Estimate of Elite Durum Wheat Landrace Selections (composites) at Deka Bora Ejere (kg/ha).

Entry N°	Samples						Average Yield (kg./ha)**
	1	2	3	4	5	6	
52**	850	1500	750	1000	1250	1250	1100,00
53	750	1750	1000	1380	1180	1380	1240,00
54	880	1870	1500	1500	1250	1000	1333,33
55	750	1120	1250	1120	1750	1000	1165,00
57	1000	880	1120	1380	880	1120	1063,33
58	1000	1120	1000	1250	1000	880	1041,67
59	1250	1120	1750	750	1370	2750	1498,33
60	1750	1500	1630	2500	1500	3000	1980,00
61	1870	2120	1370	1750	1250	1370	1621,67
31	1370	1250	1370	1370	1370	1250	1330,00
IHYV*	1250	1000	750	1000	490	750	873,33
Mean							1295,16
S.E.							207,17
LSD(0,05)							415,17
CV							15,91

Source: Tesfaye Tesemma, 1996 (ibid).

- *IHYV : Improved, high input variety
 ** : Figures in brackets indicate ranking in terms of yield levels
 *** : Original farmer's seed grown *in situ*

Date planted = September 1, 1994 - Date harvested = March 3, 1995 - Previous crop = Faba bean

BUILDING ON SoS/E ACTIVITIES: ADDING NEW DIMENSIONS

The elite landrace materials provide a dependable source of planting material with the potential to out-perform the improved, exotic seed that often fails to meet the farmer's diverse needs and requirements. The Programme is working towards adding new entries to the pool of elite landrace selections (mostly composites) that are now rapidly expanding. The network of *in situ* conservation plots currently being established at representative sites across a wide array of environments will provide useful germplasm on a continual basis to improve or enhance the elite landraces, especially with respect to resistance to disease and pests or stresses like drought.

The pioneer work of SoS/E continues with new initiatives emerging as the programme probes the immense possibilities of supporting community based genetic resource activities, building on the knowledge and skills of peasant farmers. One such initiative is to enhance small storage units (pits, clay pots, etc) that farmers traditionally employ to store seeds for planting which includes maintaining farmer's seed stock by women farmers as special selections. Improving these units will help to preserve diversity more effectively, thereby complementing the more formal *ex situ* system. This is appropriate as farmers will always retain seeds in order to be self-sufficient. The seed stock maintained in this way would also represent a backup system for the *in situ* field plots, in case of crop failures, and thus provide a mechanism of ensuring continuity of in-field conservation of landraces.

It is the presence of these components that makes the activities of SoS/E rather unique, and a viable, relatively safe measure of promoting the conservation and effective use of locally adapted seeds. Other initiatives also exist in Africa which promote traditional varieties but many of them lack the systems essential for sustaining these materials, especially in situations where such materials are grown on extensive scales and disease and pest epidemics and other stresses are prevalent. The elite selections may also become obsolete unless new entries are periodically introduced. Moreover, many of these programmes operate in virtual isolation with little or no support from gene banks or other scientific back-up systems.

SoS/E is also working toward new strategies and approaches to landrace development and use, adding a new dimension to its yield enhancement efforts which includes the promoting of elite landraces selected/enhanced on the basis of the growing urban consumption needs. This would provide the

market incentive for farmers to produce indigenous seeds beyond the subsistence level. SoS/E scientists and farmers have already identified a few elite seeds (e.g. white and purple seeded durum wheats) with the potential for use in food industry (for pasta and pastries) which at present largely depends on imported food grain, and are multiplying those for local/urban consumption.

Long term stability of food crop production may be enhanced by maintaining a large repertoire of landrace materials or cultivars which farmers traditionally maintained to adjust to new, changing conditions, including market demand. Complementing crop diversity with improved farming practices (e.g. crop rotation, soil and water management, etc) is, however, crucial to sustained crop yields which SoS/E is at present undertaking as part of a comprehensive programme to improve over-all farm productivity.

Promoting the development, distribution and use of indigenous crop cultivars along these lines will provide a mechanism that will enable farmers to benefit from a stable, more secured crop harvests, and increased productivity that they eventually can sustain independent of external financial assistance.

The success of SoS/E has led to the emergence of new initiatives which are now building on the existing farmer-based landrace conservation, enhancement and utilization programme. The Global Environment Facility (GEF) has allocated approximately US\$ 2.5 million to support a comprehensive programme for an initial 3 year period. Among other activities the Project will build a series of Community Gene Banks (CGB) that will maintain local germplasm for crop improvement and a seed reserve system for emergency use. A Community Biodiversity Development and Conservation (CBDC) Programme for Africa is also emerging, focusing primarily on local crop improvement. All these activities are guided and coordinated by BDI which has established a Department that is responsible for all community based genetic resource activities. While complementing the Institute's on going conservation activities, the SoS/E programme is also geared toward filling a significant gap in performance, and availability to farmers, of crop varieties currently used in the countries food production strategy⁵.

The SoS/E programme has made major strides towards building Ethiopia's food resources at a time when the country is seriously threatened by famine and irreversible losses of its crop diversity. Much of this problem, common across Africa is attributed to so-called « advances in agriculture ». These usually involve the expansion of a few major crops (hi-tech, high input varieties), forcing smallscale farmers to adopt the cash crop model.

THE PERSPECTIVES

Africa is now confronted with the dilemma of producing enough food for its rapidly growing population on the one hand and protecting the resource base upon which this is dependent on the other. Maintaining a sustainable balance between these two has been a major challenge for many African countries who are often led to think that following the Western model is the only way food production can increase. This usually requires inputs which African peasant farmers have trouble meeting. Traditionally, peasant farmers maintained an appreciable amount of field diversity of their crops to sustain productivity and to diversify their diet and income. Such diversity allowed the farmer to maximize output under the farming conditions often characterized by highly varied micro-environments differing in characteristics such as soil, water temperature, altitude, slope and fertility. The traditional varieties or landraces are well adapted to these environments and produce stable yields over changing seasons.

The disruptive measures taken to completely replace the traditional farming systems by the Western model manipulate the external environment to maximize and sustain yield, thereby changing the whole picture. Spraying against diseases/pests becomes more routine rather than capitalizing on natural resistance; crop rotation may change giving way to planting the same crop year after year, requiring heavy fertilizer inputs, etc. The decisive factor is the seed the farmer is planting i.e. whether that seed was bred for high external inputs, or for broad adaptation, over looking the highly varied conditions crops are grown on the small peasant farms; and once the farmer adapts such seeds, the rest

⁵ More details are to be found in relevant BDI/E Activity Reports and Project Documents

goes without saying. Following this course of development, it may not be surprising if African farmers become a source of cheap labor for the large scale mono crop commercial enterprises that many of the small farms will eventually transform into.

The SoS/E initiative is, therefore, a timely venture seeking to avert this situation. Its main objective is to help African farmers retain their diversity while improving productivity, and to maintain the freedom of choice of their planting material. The Programme's success largely resides in the fact that a significant number of farmers in Ethiopia are now benefitting from the use of landraces which they themselves have selected and multiplied. Various other programmes working in related fields in Africa (and other regions) are also being involved, with increasing interest, in pursuing activities similar to those of SoS/E in the Region.

FUTURE PLANS AND PROJECTIONS

SoS/E has gone through two consecutive successful phases, and is entering a new phase (Phase III), with financial support that the Canadian International Development Agency (CIDA) is expected to provide through USC-Canada. The Agency has more recently provided a substantial amount of assistance for the seed enhancement and related activities which have significantly contributed to the success of SoS/E. The Programme complements the national crop production strategy, and aims at filling significant gaps in performance, or availability to farmers, of planting materials in current use.

In view of this, Phase III will focus on a comprehensive programme of on-farm activities that will include multiplication and promotion of locally adapted seeds in their more competitive (enhanced forms); and improving/enhancing the traditional cultural practices or cropping systems-thereby promoting sustained production of food crops beyond the subsistence level. The Programme will also support activities that will ensure the sovereign rights of farmers to the materials developed and produced on their farms, or to the benefits that might accrue as a result of improved market potential (national/international), thereby generating the financial resources to sustain crop productivity and improved livelihoods with minimal external support.

Networking of the landrace programme with USC-Canada supported projects in other countries working in similar fields will continue and will draw from the experiences of SoS/E. Such an activity will be greatly enhanced by the International Training Workshops and consultancy/case studies that SoS/E has been providing since its inception. The African Diversity Newsletter, published by SoS/E with support of a consortium of NGOs led by USC-Canada, and with contributions by The Rural Advancement Foundation International (RAFI), in particular, will continue to represent an indispensable input in creating awareness of the importance of biodiversity to humankind, and in promoting greater cooperation among potential collaborators in this field.

BIBLIOGRAPHY

- Anonymous, 1995 (unpublished). Report on Performance of durum wheat landraces, Debre Zeit Agricultural Research Centre, AUA.
- Ataro Adare and Bayush Tsegaye, 1994. Survey on Relative Performance of Landraces for the 1993/94 Cropping Season. Consultancy Report Seeds of Survival, USC Canada in Ethiopia.
- Tesemma, T. 1996. Low Agricultural Inputs: Opportunities on farmer based approach to landrace conservation enhancement and utilization, Proc., Christian Relief and Development Association (CRDA) Workshop on Agricultural Extension, March 19, 1996, Addis Ababa, Ethiopia, pp 10-15.
- Tesemma, T., 1987. Improvement of Indigenous Wheat Landraces in Ethiopia. In: J.M.M. Engles (ed.) Proceedings of the International Symposium on Conservation and Utilization of Ethiopian Germplasm, 1316 Oct. 1986, pp. 232-238.
- Worede, M. and Hailu Mekbib, 1993a. Linking Genetic Resources Conservation to farmers in Ethiopia. pp. 78-84. In: de Boef *et al* (ed.). Cultivating Knowledge: Genetic Diversity Farmer Experimentation and Crop Research. Intermediate Technology Publications, London.
- Worede, M., 1987. Conservation and Utilization of annual oil seed genetic Resources in Ethiopia. P. 193-205. In: A Omran (ed.) Oil Crop Proc. Third Oil Crops Network Workshop (IAR/IDRC), Addis Ababa, 6-10 Oct. 1986. Institute of Agricultural Research, Addis Ababa, Ethiopia.

- Worede, M., 1991. Crop Genetic Resources Conservation and Utilization: An Ethiopian Perspective. In: AAAS (ed.) Science in Africa: Achievements & Prospects. Proceedings of the Symposium of the American Association for Advancement of Science, 15 Feb., 1991, Washington D.C.
- Worede, M., 1992. Ethiopia: A genebank working with farmers P. 78-94. In: D. Cooper et al. (ed.) Growing Diversity. Intermediate Technol. Publ., London.
- Worede, M., 1993h. The Role of Ethiopian Farmers in the Conservation and Utilization of Crop Genetic Resources. In: D. R. Buxton *et al* (ed.). International Crop Science Society of America, Madison, WI.

DE LA NECESSITE D'ASSOCIER LES POPULATIONS RURALES DANS LA GESTION DES RESSOURCES GENETIQUES DES PLANTES

Tchala W.

ESA - UB, TOGO

INTRODUCTION

Pour satisfaire leurs besoins nutritionnels, les êtres humains consomment massivement des produits végétaux et animaux provenant de l'élevage des animaux, la culture des plantes, la cueillette et la chasse à l'état sauvage. Ce faisant, ils menacent l'évolution numérique de ces espèces et les dégâts seraient peut-être peu alarmants si les humains ne s'attaquaient à d'autres espèces uniquement pour leurs besoins alimentaires. En plus de cela, beaucoup d'espèces animales et végétales sont massacrées pour satisfaire aussi les multiples besoins non nutritionnels des humains. Pire encore, on peut constater la destruction des ressources génétiques, sans aucun objectif d'utilisation, simplement par esprit de domination, de supériorité ou par peur, et cela inclut la destruction massive des ressources génétiques humaines par les guerres, les disputes violentes, les génocides, etc.

Ceci explique l'épuisement des ressources génétiques animales et végétales en Afrique où il y a aujourd'hui de gros risques de pénurie à la fois pour nous-mêmes et pour nos descendants. En effet, les pratiques traditionnelles d'exploitation massive des ressources génétiques sans souci du lendemain (amplifiées par les ventes sur le marché international attrayant) ont largement contribué à la désertification qui menace les pays du Sahel et dont les séquelles sont déjà ressenties dans les pays côtiers de l'Afrique occidentale.

La prise de conscience internationale au sujet de ce phénomène (qui est l'une des causes de l'insuffisance alimentaire) a conduit, à la suite du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro au Brésil, en juin 1992, d'une part à la Convention sur la Lutte Contre la Désertification dans les pays les plus gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique, et d'autre part à la Convention sur la Biodiversité, signée par 165 pays et ratifiée actuellement par 122 pays. Entre temps, dans les pays qui ont signé ces Conventions, se sont mis en place des Programmes d'Action Nationaux (PAN) d'une part de lutte contre la désertification où le développement du commerce international a joué un rôle, et d'autre part de sauvegarde de la biodiversité, qui vont fonctionner selon l'approche participative «de la base vers le sommet, puis du sommet à la base, continuellement». Mais il convient de noter que dans son application, la Convention sur la Biodiversité va poser beaucoup de problèmes dans la mesure où sous sa forme signée elle ne couvre pas les forêts qui constituent pourtant une grande partie des ressources génétiques végétales et animales, difficilement séparables du reste de la biodiversité.

L'objectif de cette communication est de contribuer à la sensibilisation générale sur la nécessité d'associer les populations rurales à la gestion des ressources génétiques des plantes, à travers les PAN, dans le cadre d'une lutte globale contre la faim et la dégradation de l'environnement.

Cependant, l'article discute aussi de la possibilité d'associer le « développement durable » à travers l'approche nouvelle « de la base au sommet et retour à la base, continuellement », qui a fait ses preuves et que comptent utiliser les PAN, et la « gestion des ressources génétiques végétales », même si les PAN ne peuvent pas être opérationnels pour une raison quelconque.

Enfin, quel que soit le système utilisé pour associer les populations rurales à la gestion des ressources génétiques végétales, il convient de voir le rôle de chacun dans le système et les chances de réussite d'un tel système.

Pour atteindre ces objectifs, il est important de connaître les différents sites de sauvegarde des ressources génétiques et leurs modes d'approvisionnement et de fonctionnement.

LES DIFFERENTS SITES DE SAUVEGARDE DES RESSOURCES GENETIQUES ET LEURS MODES D'APPROVISIONNEMENT ET DE FONCTIONNEMENT

Depuis que la science a montré l'unité de la vie et surtout l'interdépendance, d'une part entre les êtres vivants qui entretiennent des relations nutritionnelles entre eux à travers la chaîne trophique, et d'autre part entre le monde physique et le monde biologique, il devenait de plus en plus clair que détruire une forme de vie pouvait avoir des conséquences désastreuses sur d'autres formes de vie, tout comme dégrader l'environnement physique pouvait entraîner la dégradation des ressources génétiques.

Peu à peu, l'idée qu'il fallait faire quelque chose pour limiter la dégradation de l'environnement et l'épuisement des ressources génétiques a fait son chemin. C'est ainsi que des efforts à travers le Monde, surtout grâce à la FAO et à l'IBPGR (remplacé aujourd'hui par l'IPGRI, sigle en Anglais de l'Institut International des Ressources Génétiques des Plantes), ont été entrepris pour conserver les ressources génétiques végétales.

L'examen de ce qui a été fait peut permettre de distinguer trois moyens de sauvegarde des ressources génétiques végétales et trois types de conservation de ces ressources.

Les banques de gènes ou sites de conservation *ex situ*

La première idée qui a émergé, lorsqu'il était devenu clair qu'il y avait un grand risque de perte de certaines ressources génétiques végétales, a été de créer des centres de conservation d'espèces d'utilité reconnue (en priorité les espèces rares) en les soustrayant ainsi à l'environnement inhospitalier qui les menace. C'est ainsi que furent créées des banques de gènes à partir de collectes par prospection dans les zones de culture et les centres d'origine. Il existe aujourd'hui des collections mondiales et locales de ce genre, qui constituent des sites de conservation *ex situ* des ressources. Les ressources génétiques qui sont stockées au niveau de ces sites constituent surtout des réserves qui peuvent être multipliées de temps en temps mais dont une partie est distribuée aux chercheurs pour les travaux de caractérisation et d'amélioration, alimentant ainsi les sites d'exploitation active. Ces sites sont équipés pour la conservation à long terme, à très basse température, le plus souvent.

Les sites de conservation par exploitation active

C'est à travers l'agriculture que les humains ont conservé pendant longtemps les ressources génétiques. Les collectes d'abord faites à l'état sauvage sont ensuite recyclées continuellement par le système agricole pour les espèces saisonnières. La recherche agronomique plus récente utilise le même principe de conservation en puisant ses ressources à la fois dans les champs des agriculteurs et à l'état sauvage, et plus récemment dans les banques de gènes. Les sites agricoles et ceux de la recherche sont caractérisés par la dynamique du recyclage presque permanent des ressources, et c'est pour cela qu'il s'agit de sites d'exploitation active des ressources génétiques végétales. Lorsqu'un centre de recherche ou un centre agricole est équipé pour faire des conservations de ressources à long terme, il est alors à la fois un site de conservation *ex situ* et un site d'exploitation active. Selon un agriculteur malien qui s'exprimait à la Rencontre Internationale de Bamako (24-28 février 1997) où cette communication a été présentée, les méthodes traditionnelles peuvent permettre de conserver les graines de 2 à 10-12 ans au maximum, selon les espèces végétales. Comparativement, les biotechnologies et les banques de gènes peuvent permettre des conservations à très long terme (pendant des siècles ou même des millénaires).

Les sites d'exploitation active des ressources génétiques végétales maintiennent les plantes cultivées dans un circuit perpétuel de production, de consommation, d'amélioration et de conservation. Hardon et de Boef (1992) les désignent simplement comme des sites de conservation *ex situ*, alors que les plantes cultivées constamment en milieu rural entrent difficilement dans cette catégorie. Par contre nous admettons avec les auteurs qu'il existe à ce niveau un système institutionnel formel associant les banques de gènes *ex situ* et l'amélioration privée institutionnelle et industrielle, la production des semences et leur distribution ultime aux producteurs fermiers qui bénéficient ainsi d'un transfert linéaire de la diversité génétique, et un système informel non-institutionnel, utilisant les cultivars locaux et intégrant conservation et utilisation dans une action dynamique d'amélioration de plantes locales et de production de semences. Ce système est responsable de la maintenance d'une grande source de la diversité génétique encore disponible, directement utilisable par le système institutionnel. Ce système couvre la majorité des paysans des pays en développement et pourtant ne bénéficie

d'aucune manière des progrès en amélioration des plantes ou de la conservation institutionnelle des banques de gènes *ex situ*. Ce dernier point de vue largement partagé indique clairement que les banques de gènes sont surtout des banques de stockage des ressources génétiques et ne font pas de prêts aux pauvres et par conséquent ne contribuent pas au développement à la base, juste à l'image des banques monétaires dans beaucoup de pays africains.

Hammer et Mbewe (1992) soulignent, et nous appuyons, que les conservateurs principaux de la diversité génétique sont les agriculteurs, et font remarquer que les variétés traditionnelles sont bien adaptées à l'environnement mais souffrent la plupart du temps du fait qu'elles ont de faibles rendements. Par conséquent, de plus en plus de paysans à travers le monde se sont tournés, et se tournent encore, vers les variétés améliorées à hauts rendements mais n'ayant qu'une étroite base génétique. Ceci a conduit un grand nombre de paysans à abandonner les variétés traditionnelles, contribuant ainsi à la perte de la diversité génétique. On peut en conclure que si les populations rurales qui sont les principaux conservateurs de la diversité génétique, continuent à travailler indépendamment du monde scientifique, comme par le passé, tout en utilisant comme elles peuvent les résultats de la recherche, elles risquent de contribuer largement à la perte des gènes que l'humanité a intérêt à conserver.

Les sites de conservation *in situ*

La sauvegarde des ressources génétiques végétales *in situ* est faite soit par les humains qui conservent les plantes là où elles poussent, en les surveillant et en les protégeant (forêts et parcs protégés), soit par la nature brute où n'interviennent les humains que pour faire de la cueillette à l'état sauvage. Sur la plupart de ces sites de conservation *in situ* des ressources, les plantes sont livrées à leur propre sort et ne survivent que celles qui peuvent résister aux diverses intempéries. Une bonne partie de ces sites sont livrés à eux-mêmes et tous ceux qui s'intéressent aux plantes y font des prélèvements spontanés ou périodiques selon leurs besoins : collection de gènes pour les généticiens et améliorateurs des plantes, collections d'échantillons pour les herbiers des botanistes, produits de cueillette pour beaucoup, etc. Les ressources qui s'y trouvent sont les moins protégées et sont toujours à la merci des aléas climatiques, des feux de brousse et des incendies allumés par les populations environnantes, auxquels ne peuvent échapper que les sites bien protégés comme les jardins botaniques, les parcs de réserve de bois, et même des forêts (cas du Ghana par exemple où les forêts ne brûlent pas parce que les feux de brousse sont interdits alors qu'au Togo voisin ces feux semblent de règle chaque année, le gouvernement se contentant de préconiser des feux précoces pour limiter les dégâts).

Les banques de gènes ne concernant généralement que les espèces cultivées vivrières et industrielles et les espèces sauvages qui leur sont apparentées, une grande partie de la diversité génétique est conservée *in situ* et est menacée de disparition alors que chaque plante a des vertus qui méritent d'être découvertes. A cause de cela, la Convention sur la Biodiversité qui n'inclut pas les forêts pose vraiment problème et les signataires devraient la rendre plus opérationnelle en annulant cette restriction concernant les forêts.

En résumé, on peut recenser trois sites principaux de conservations des ressources génétiques végétales qui sont :

- Les banques de gènes ou sites de conservation *ex situ*, où les formes conservées peuvent rester des années sans être cultivées, constituant essentiellement des stocks en réserve.
- Les sites d'exploitation active des ressources génétiques, comprenant d'une part les centres de recherche qui travaillent à l'amélioration des cultivars et à la création de nouvelles variétés et d'autre part les systèmes d'exploitations agricoles, travaillant avec des ressources recyclées fréquemment. On peut les rapprocher du terme conservation à la ferme (on-farm conservation) utilisé par différents auteurs, en particulier à la Rencontre de Bamako 97, mais qui n'inclut malheureusement pas les centres de recherche qui opèrent de la même façon que les sites agricoles. D'autre part, nous pensons qu'il ne faudrait pas confondre on-farm conservation et conservation *in situ* proprement dite.
- Les sites de conservation *in situ* que sont les parcs protégés, les jardins botaniques, les forêts, et le reste de la nature sauvage.

De l'étude du fonctionnement des trois types de sites de conservation des ressources génétiques, il ressort d'une part que la relation fonctionnelle entre la conservation *ex situ* et la recherche qui occupe un des sites d'exploitation active devrait être étendue aux populations rurales qui occupent le second

site de cette exploitation active des ressources, et d'autre part que tous les sites de conservation *in situ* devraient bénéficier de la même attention, sinon d'une plus grande attention que les autres sites, d'autant plus qu'au point de vue volume et diversité les sites *in situ* sont de loin les plus importants.

Vu l'organisation et le fonctionnement des sites de conservation des ressources génétiques des plantes, et la nécessité de poursuivre les efforts dans ce domaine, quelles seront alors les nouvelles voies de conservation susceptibles de garantir un meilleur succès ?

DE L'INTERET A UTILISER LES PAN (PROGRAMMES D'ACTION NATIONAUX) DE SAUVEGARDE DE LA BIODIVERSITE POUR LA GESTION DES RESSOURCES GENETIQUES VEGETALES

L'alimentation qui est une source d'énergie vitale nécessite des échanges réciproques entre l'être vivant et le reste de l'univers. De la qualité de ces échanges et de l'efficacité du métabolisme individuel, dépend la qualité de la vie. En particulier, quand l'environnement est pauvre en éléments nutritifs, la vie devient difficile.

En Afrique, comme partout ailleurs sous les tropiques, mais en Afrique surtout, la désertification est devenue la cause principale de la dégradation de l'environnement et de l'insuffisance des aliments, à cause de ses conséquences défavorables sur l'agriculture. Comme il a été dit en introduction, des Programmes d'Action Nationaux (PAN) de lutte contre la désertification et de sauvegarde de la biodiversité sont en train d'être mis sur pied dans le cadre des Conventions des Nations Unies pour tenter de guérir différents maux qui rongent l'Afrique en particulier : la dégradation de l'environnement, l'insuffisance des ressources génétiques et leurs conséquences qui sont l'insuffisance des produits agricoles, le manque d'eau, la pauvreté des sols, la pauvreté des populations rurales, le sous-développement, etc. Parallèlement, de nombreuses voix s'élèvent (Hurturbia, 1992 ; Jackson, 1992 ; Norton, 1992 ; Okigbo, 1992, entre autres) pour souligner les risques de disparition des ressources génétiques des plantes, surtout en Afrique, et la rencontre internationale de Bamako 1997 qui vient s'ajouter à d'autres du même genre en est encore une preuve.

Les efforts passés ont conduit à la collecte et à la conservation des gènes dans des banques, mais une bonne partie du monde agricole africain qui est essentiellement rural n'a pas pu profiter de l'exploitation de ces ressources. Or, pour être plus efficace, la lutte pour la conservation des ressources génétiques devrait avoir pour objectif principal le développement à la base qui est la base du vrai développement en Afrique. Car sauver les gènes pour leur propre salut ne peut pas être bien fait par des gens affamés. Mais sauver des gènes dans le but d'améliorer la vie humaine peut mobiliser même les plus affamés. Puisque les PAN prônent le développement durable en intégrant les populations rurales, c'est à travers ces programmes que pourrait mieux se faire désormais la sauvegarde des ressources génétiques végétales au service du développement. Les autres avantages qu'offrent les PAN sont les suivants :

- Les PAN promettent de mobiliser tout le monde, en partenariat, permettant ainsi de faire circuler les informations utiles qui restaient souvent enfermées dans des tiroirs et dans des greniers. En effet, en utilisant la méthode participative qui a fait ses preuves dans le milieu rural grâce surtout aux actions des ONG, les PAN permettront aux décideurs traditionnels (les agents de l'Etat) et aux populations rurales, qui sont traditionnellement des exécutants des ordres venus d'en haut, de devenir des partenaires qui échangeront entre eux des informations et des biens de consommation divers.
- Si les promesses des Conventions sont tenues, les PAN bénéficieront des financements de la FAO et de la Banque Mondiale, ce qui constitue une bonne bouffée d'oxygène pour les agricultures africaines qui en ont tant besoin.

Mais malgré leurs avantages, les PAN peuvent ne pas être opérationnels, soit parce que le pays n'a pas ratifié les Conventions, soit parce qu'il y a manque de motivation pour les mettre en place, etc. Dans ce cas, ce sont les chercheurs qui devront prendre l'initiative de s'associer avec les agriculteurs en partenaires, selon la philosophie de la méthode participative, pour mener à bien la lutte pour la conservation des ressources génétiques végétales au service du développement durable.

La nécessité de travailler en partenariat avec les populations rurales relève du fait que c'est lorsque les populations rurales, qui côtoient les plantes quotidiennement et qui les utilisent abondamment, auront compris que leur façon de vivre et de faire a déjà contribué à la perte des ressources génétiques

et risque d'aggraver la situation si elles continuent dans le même sens, que des actions positives pourront être entreprises de façon participative pour sauvegarder la plus grande partie du patrimoine génétique végétal menacé de disparition, celui des sites de conservation *in situ*. En particulier, les feux de brousse, qui constituent l'une des causes principales de la dégradation des ressources *in situ*, ne pourront être contrôlés efficacement que lorsque les populations rurales, qui les provoquent généralement, entreront de plein pied dans la lutte pour la conservation des ressources.

Mais alors, si la lutte pour la conservation des ressources génétiques végétales intégrait les populations rurales, quel serait le moyen de lutte le plus approprié pour garantir un bon résultat ? Dans l'approche participative, c'est par la discussion entre tous les partenaires que les vrais problèmes sont identifiés et les solutions proposées et testées d'un commun accord. Ainsi ce sera avec les populations que les chercheurs et les autres participants décideront de la voie à suivre. Néanmoins, quelques suggestions peuvent être faites ici.

LES CARACTERISTIQUES DU MOYEN DE LUTTE LE PLUS EFFICACE, POUR LA SAUVEGARDE DES RESSOURCES GENETIQUES APPLICABLE EN AFRIQUE

Ces caractéristiques qui ne sont pas exhaustives peuvent être résumées de la façon suivante :

- demander un coût réduit au minimum, et une main d'oeuvre peu coûteuse,
- créer de l'emploi et générer des fonds pour les participants à la base,
- garantir les potentialités naturelles du matériel génétique à conserver,
- favoriser l'évolution des ressources génétiques dans l'environnement où évoluent les populations humaines utilisatrices,
- favoriser la collecte et la diffusion des informations concernant la nature et les différents usages des ressources concernées,
- impliquer le maximum de catégories de gens pouvant être concernés par les ressources génétiques végétales,
- permettre de mesurer l'impact de la lutte sur le développement,
- permettre une conservation à long terme qui utiliserait une énergie renouvelable comme l'énergie solaire, par exemple, à la place d'autres sources d'énergie plus coûteuses. Et cette conservation ne devrait pas se faire trop loin des populations utilisatrices des ressources.

Les efforts louables de l'IBPGR (devenu aujourd'hui IPGRI) et de la FAO dans la constitution des banques de gènes et de données sur ces gènes, ont permis de disposer aujourd'hui de collections, mondiales, surtout des principales plantes cultivées et espèces apparentées, du monde entier. Ces efforts devraient être poursuivis afin que les populations rurales africaines puissent à la fois bénéficier des stocks et contribuer à la protection et même à l'accroissement de la diversité existante. Car, on constate avec Hardon et de Boef (1992) que « dans la plupart des pays en développement, les bénéfices du système institutionnel formel associant les banques de gènes *ex situ* sont limités à une minorité parmi les paysans riches en ressources ».

Par ailleurs, si d'autres centres de conservation *ex situ* de ressources génétiques végétales devaient s'ajouter en Afrique à ceux qui existent déjà, leur installation devrait tenir compte de la disponibilité permanente de l'énergie solaire qui pourrait être utilisée à bon escient. Si les points soulignés ici peuvent animer les discussions entre les différents partenaires, c'est de ces discussions franches qu'émergera finalement la voie à suivre qui indiquera clairement le rôle de chacun selon une suggestion faite ci-après.

LE ROLE DE CHACUN DANS LA GESTION DES RESSOURCES VEGETALES IMPLIQUANT LES POPULATIONS RURALES

Chacun ici, c'est chaque Africain et quiconque s'intéresse à l'Afrique, car il s'agit de résoudre un problème qui nous touche tous directement ou indirectement. Il s'agit de mener une lutte efficace pour guérir l'environnement africain afin qu'il devienne favorable à toute forme de vie, la vie humaine incluse. Nous sommes tous concernés parce que nous partageons le même environnement et nous avons tous besoin de ressources génétiques végétales. Cependant, ici, seuls certains rôles de quelques catégories de partenaires dans la mise en pratique de la méthode participative seront évoqués :

Les gouvernements. Leur rôle devrait permettre de :

- Garantir la paix et la sécurité civile, qui sont des biens inestimables, par une politique de bon voisinage entre les différentes communautés au sein des Etats et entre les Etats.
- Mettre sur pied une politique de développement où chaque secteur formel ou informel puisse trouver un rôle à jouer, où chaque habitant puisse sentir et reconnaître que son effort compte dans le développement du pays, quel que soit ce qu'il ou elle fait. Cette politique devrait surtout faciliter les déplacements et la communication en général, et insister sur la nécessité de :
 - rendre opérationnelle l'utilisation de l'énergie solaire, du gaz en particulier, et des énergies renouvelables en général, afin de diminuer l'utilisation du bois au foyer ;
 - de maîtriser l'élément eau qui est synonyme de vie pour toutes les ressources génétiques, humaines y comprises.
- Assurer aux populations rurales le minimum vital en ce qui concerne la santé, l'alphabétisation, et l'information.
- Mettre en place une législation foncière claire qui permette d'éviter les conflits au sujet des terres.
- Mettre les moyens de communication publics au service du développement durable. Ces moyens (presse écrite, radio et télévision, etc.) pourront être notamment utilisés pour :
 - sensibiliser les populations sur la nécessité de sauvegarder l'environnement et les ressources génétiques, en faisant bien ressortir les avantages et en insistant sur la collaboration incontournable des populations rurales dans les actions à mener ;
 - encourager les bonnes volontés (individus ou collectivités, dans le public ou le privé) qui ont entrepris des actions dans le but de sauvegarder l'environnement et les ressources génétiques, et les citer comme exemples pour encourager d'autres à leur emboîter le pas ;
 - encourager la recherche impliquant directement les populations rurales et encourager surtout la vulgarisation des résultats utiles de la recherche en milieu rural.

Les députés à l'Assemblée

Leur rôle principal consiste à être à l'écoute des besoins réels (en matière d'environnement, de ressources génétiques et de développement) des populations qu'ils représentent et à user de leur influence auprès des autres partenaires pour aider à les satisfaire.

Les chercheurs (biologistes, pédologues, biophysiciens, écologistes, etc.) auront pour tâches de :

- Concevoir des projets de recherche axés sur la résolution des problèmes de développement, en impliquant les populations dès la conception.
- S'engager à assister techniquement les populations rurales afin qu'elles contribuent plus efficacement à la réussite des projets.
- Chercher à améliorer (et à renforcer au besoin) les connaissances et les techniques des populations rurales, plutôt qu'à les remplacer par d'autres, dans la mesure du possible.
- Veiller à la vulgarisation des résultats de recherche, de sorte qu'ils puissent atteindre ceux qui peuvent en bénéficier pour pousser le développement.
- Evaluer l'impact de la recherche sur le développement, afin de concevoir de nouveaux projets mieux adaptés.

Institutions de formation, de recherche et/ou de promotion professionnelle

- *Etablissements primaires et secondaires, et Universités.* Ils auront pour objectifs de concevoir des programmes où l'initiation aux activités de la vie est prise en compte comme dans les pays anglophones ; de concevoir la mise en place de jardins botaniques ou de parcs boisés, dans la mesure du possible, comme laboratoires naturels associés à divers enseignements. En particulier, chaque université africaine devra avoir sa petite réserve de flore et de faune comme laboratoire naturel.
- *Le CAMES* (Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur, chargé de la promotion des enseignants et chercheurs universitaires). La plupart des chercheurs africains francophones ne cherchent qu'à publier dans des revues internationales « bien cotées » parce que c'est ce qu'exige le CAMES pour leur avancement en grade. Or, publier dans ces revues « bien cotées » demande souvent qu'on traite des sujets susceptibles d'intéresser le monde scientifique international, lecteur visé, ce qui en soi peut éviter aux chercheurs concernés de traiter des sujets susceptibles de résoudre des problèmes locaux. Ensuite, publier dans de telles revues, même si le sujet est d'un intérêt local, empêche les utilisateurs locaux d'avoir accès à l'information, (surtout que, souvent,

ils ne sont pas associés à la recherche). Pour amener les chercheurs africains francophones à contribuer au développement de leur continent, le CAMES devrait encourager d'une part la mise en place de revues scientifiques africaines « bien cotées » qui pourraient attirer des auteurs non africains, et d'autre part la recherche (agronomique en particulier) appliquée au développement du continent en évaluant les candidats à la promotion sur leur contribution dans ce domaine.

Les Organisations Non Gouvernementales (ONG)

Ce sont elles surtout qui ont montré que les populations rurales ont des connaissances très utiles de leurs milieux et un savoir-faire qui méritent d'être recensés, réorganisés, puis redistribués afin qu'ils atteignent le plus grand nombre possible. Leur intervention en milieu rural par la méthode participative ces dernières années a donné des résultats positifs nettement plus importants que ceux des agents gouvernementaux de vulgarisation. Elles devraient continuer leurs efforts en collaboration avec les autorités locales afin que les meilleures méthodes de travail puissent être définies ensemble avec les partenaires cibles de leurs activités (les ruraux en particulier).

Les populations rurales

C'est par leur dur travail que les populations urbaines arrivent à manger et même à se « chauffer », étant donné que l'électricité coûte trop cher alors que l'utilisation du gaz et de l'énergie solaire n'est pas encore perçue comme une nécessité vitale par les décideurs africains. Si tous les Africains participent en réalité à la dégradation de l'environnement en général et à la destruction des ressources génétiques en particulier, c'est dans une chaîne, pas forcément linéaire, où les populations rurales sont les intermédiaires entre le milieu sauvage renfermant les plantes et les animaux, et le reste de la population humaine qui n'entreprend souvent pas d'activités directes fréquentes et importantes sur ce milieu sauvage. Vouloir conserver les ressources génétiques en Afrique en ignorant que sur ce continent ce sont les populations rurales qui sont les conservateurs naturels de cette diversité, c'est vouloir séparer les eaux à l'aide d'une épée. Cela ne marchera jamais. C'est pourquoi leur association par l'approche participative à toutes les démarches visant la protection de l'environnement en général, apparaît comme une nécessité.

Ces populations ont besoin de faire partager leurs connaissances, d'accéder à d'autres connaissances, d'accéder aux crédits, d'investir, d'être éduquées, d'éduquer, bref de donner et de recevoir dans des interactions avec d'autres partenaires. Trop souvent leurs besoins ont été ignorés, niés. Il est grand temps de corriger cette erreur en associant les populations rurales dans la prise des décisions qui peuvent les concerner. Si le minimum vital leur est accordé comme aux autres partenaires de l'Etat, elles pourront alors mieux sauvegarder les ressources génétiques pour le bénéfice de tous.

Les commerçants de divers produits végétaux et les consommateurs à tous les niveaux

C'est le commerce et la consommation qui stimulent ou ralentissent la production agricole en particulier et l'exploitation des ressources génétiques en général. Dans la plupart des cas, ce sont les commerçants qui fixent les prix et non pas les producteurs ruraux, surtout quand ceux-ci ne sont pas organisés pour défendre leur production.. Une politique commerciale bien pensée et bien appliquée devrait permettre d'amener les commerçants, toujours par l'approche participative, à contribuer au développement rural, en même temps qu'au leur propre. En exigeant des produits naturels de bonne qualité et en en payant le prix, tous les consommateurs peuvent stimuler l'agriculture durable et la sauvegarde des ressources génétiques.

Les bailleurs de fonds

Certains bailleurs de fonds financent de préférence les projets de développement et l'expérience a montré que c'est en faisant passer l'aide par les ONG qui adoptent la méthode participative que les efforts ont commencé par donner les fruits escomptés. Encouragés par ces résultats, les bailleurs de fonds ont tendance à privilégier la piste ONG en abandonnant la piste gouvernementale, ce qui risque de poser d'autres problèmes, car aider les gouvernements africains, surtout dans les conditions actuelles, est une nécessité, sinon, c'est une grande couche de la population qui va aussi en souffrir, étant donné que l'action des ONG n'est pas suffisante pour développer toutes les couches sociales. Les Programmes d'Action Nationaux (PAN) sont heureusement là pour permettre aux bailleurs de fonds d'aider les populations les plus démunies, même en passant par les gouvernements. Si tout les partenaires travaillent en collaboration pour que les PAN soient bien installés et fonctionnent « de bas en haut, aller et retour, continuellement », le développement à la base deviendra une réalité en Afrique

et entraînera logiquement d'autres types de développements avec lui. La réussite des PAN ou de la méthode participative, dépend de l'exigence des bailleurs de fonds vis à vis des gouvernements et des efforts de part et d'autre pour éviter les gaspillages de fonds du passé.

LES CHANCES DE SUCCES DE L'APPROCHE PARTICIPATIVE DANS LA GESTION DES RESSOURCES GENETIQUES VEGETALES

Conserver, protéger et multiplier les ressources génétiques végétales, tout en les rendant utiles à l'humanité, ce n'est pas plus difficile que d'aller sur la lune où pourtant l'homme a pu aller. C'est une question de prise de conscience, de volonté de réussir et de mobilisation. Si nous sommes tous des partenaires actifs dans cette lutte pour l'amélioration des conditions de vie, nous réussirons. Ce colloque est un bon point de départ mais risque d'être une réunion de plus sur la lutte contre le sous-développement si nous ne nous engageons pas dans cette lutte par l'adoption de la méthode participative comme le moyen le plus efficace et par notre volonté à mettre en pratique cette méthode à partir d'aujourd'hui même. Expérimentée surtout par les ONG à travers le monde et dans divers domaines en Afrique et ailleurs dans le monde, cette méthode a fait ses preuves en réussissant là où la méthode directionnelle « du sommet à la base, point final » a échoué.

Deux exemples de réussite de la méthode participative sont cités ici, pour mémoire Le premier réalisé par l'ONG CROCEVIA, en collaboration avec les autorités locales et les communautés villageoises, a permis aux agriculteurs du Yatenga au Burkina Faso de résoudre un problème crucial de production de semences des plantes alimentaires cultivées dans la région (Onorati et Galfani, 1992).

Le second concerne un projet zambien dénommé ADMADE et décrit comme « un programme de conservation de la faune qui passe pour l'un des plus novateurs et des plus réussis du genre sur tout l'ensemble du continent africain ». Il est rapporté par Gabrielle Walters, dans Topic N°187, que je cite : « L'ADMADE a pour principe fondamental d'associer les populations à l'administration et à la gestion des ressources animales. Son mérite tient au fait qu'il s'assure le concours de tous les habitants et ne sépare pas les hommes de leur milieu naturel. L'ADMADE aide les habitants à respecter leur milieu naturel - fait observer un chasseur professionnel - car ils voient tout le parti qu'ils peuvent en tirer. Grâce à cela, ils construisent des écoles, des dispensaires, améliorent l'irrigation, selon ce qu'ils souhaitent faire. Mais pour que le système fonctionne parfaitement sur le terrain, le concours de tous est nécessaire : les organisateurs de safaris, les chasseurs professionnels, les agences gouvernementales, les gardes des parcs et, bien sûr, les populations locales ».

Ces exemples parmi tant d'autres rapportés par des chercheurs dans les pays sahéliens montrent bien comment la méthode participative a réussi là où d'autres méthodes ont échoué.

CONCLUSION

Le thème de la « Nécessité d'Associer les Populations Rurales dans la Gestion des Ressources Génétiques des Plantes » a conduit à l'identification de trois modes et de trois sites de conservation des ressources génétiques végétales. Après la description du fonctionnement de chaque site, l'intérêt qu'il y aurait à mener la lutte pour la conservation des ressources génétiques à travers les Programmes d'Action Nationaux (PAN) de sauvegarde de la biodiversité et de lutte contre la désertification a été évoqué. Mais c'est surtout l'importance de l'utilisation de la méthode participative qui permet d'associer efficacement les populations rurales (les principaux conservateurs et en même temps les principaux destructeurs de la diversité biologique sous les tropiques) dans la gestion des ressources génétiques qui a été montrée à travers l'article.

Selon ce qui a été dit, on peut conclure qu'il existe aujourd'hui une méthode qui a fait ses preuves et qui montre que le développement de l'Afrique est possible si chaque projet de développement implique toutes les personnes physiques et morales susceptibles d'y participer, aussi bien dans la conception que dans la phase opérationnelle du projet, en tant que partenaires à part entière, et non plus comme par le passé en décideurs d'une part et en exécutants d'autre part, qui n'ont eux qu'à obéir aux ordres des premiers.

La bonne gestion des ressources génétiques des plantes ne devrait pas avoir un autre objectif que celui d'améliorer la vie humaine grâce aux ressources génétiques végétales, ou alors c'est une gestion sans intérêt qui risque de ne pas attirer grand monde. Si tel est bien le cas, cette gestion devrait utiliser le

principe de la méthode participative qui a fait ses preuves et ne peut pas se faire sans la participation active des populations rurales qui sont à juste titre considérées par plusieurs auteurs comme les principaux conservateurs de la diversité génétique des plantes en Afrique, elle-même considérée comme l'un des plus grands continents détenteurs de cette diversité. Les populations rurales ont toujours été impliquées dans les projets de développement rural mais le développement a été très faible parce que ces populations étaient souvent considérées comme des éléments passifs, bons seulement à obéir aux ordres et à les exécuter alors que, pendant le même temps, ces populations refusaient de coopérer parce que leurs intérêts n'étaient pas pris en compte. C'est seulement les projets de développement qui ont su prendre en compte les intérêts des paysans considérés alors comme des partenaires qui ont pu aboutir. Il s'agit aujourd'hui de généraliser tout simplement cette approche partout où besoin est, et cela devrait être facile si le coeur et la bonne volonté de développer y sont vraiment.

BIBLIOGRAPHIE

- Hammer K. and D. N. Mbewe, 1992. The Role of Traditional Knowledge in Germplasm Collecting. *In* Safeguarding the genetic basis of Africa's traditional crops. Proceedings of a CTA/IPGRI/KARI/UNEP Seminar, 5-9 October 1992, Nairobi, Kenya p. 147- 155
- Hardon J. J. and W. S. de Boef, 1992. Local Management and Use of Plant Genetic Resources. *In* Safeguarding the genetic basis of Africa's traditional crops. Proceedings of a CTA/IPGRI/KARI/UNEP Seminar, 5-9 October 1992, Nairobi, Kenya p. 115-125
- Hurturbia J., 1992 . Address on behalf of the United Nations Environment Programme. *In* Safeguarding the genetic basis of Africa's traditional crops. Proceedings of a CTA/IPGRI/KARI/UNEP Seminar, 5-9 October 1992, Nairobi, Kenya : p. 1-4
- Jackson A. C., 1992. Welcome Address on behalf of the Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation. *In* Safeguarding the genetic basis of Africa's traditional crops. Proceedings of a CTA/IPGRI/KARI/UNEP Seminar, 5-9 October 1992, Nairobi, Kenya : p. 5-7
- Okigbo B. N., 1992. Conservation and Use of Plant Germplasm in African Traditional Agriculture and Land Use Systems. *In* Safeguarding the genetic basis of Africa's traditional crops. Proceedings of a CTA/IPGRI/KARI/UNEP Seminar, 5-9 October 1992, Nairobi, Kenya : p. 15-38
- Onorati A. and A. Galfani, 1992. The Role of NGOs in the Conservation and Increased Use of Landraces; or The Farmers First. *In* Safeguarding the genetic basis of Africa's traditional crops. Proceedings of a CTA/IPGRI/KARI/UNEP Seminar, 5-9 October 1992, Nairobi, Kenya : p. 157-160
- Norton H. L., 1992. Address on behalf of the Food and Agricultural Organisation of the United Nations. *In* Safeguarding the genetic basis of Africa's traditional crops. Proceedings of a CTA/IPGRI/KARI/UNEP Seminar, 5-9 October 1992, Nairobi, Kenya : p. 9-10
- Walters G. (année non indiquée) : Mise en Valeur de la Faune en Zambie. TOPIC N° 187. Publication de United States Information Agency (USIA)

STUDY OF MAIZE VARIETIES AND SEED SOURCES IN A TRADITIONAL COMMUNITY IN MEXICO

Louette D.

IMECBIO, Universidad de Guadalajara, Autlan, Jalisco, Mexico

INTRODUCTION

The conservation of the genetic resources in agrosystems in which they have evolved (on farm conservation) is now being widely considered as a complementary means of conserving genetic diversity (Altieri and Merrick, 1987; Brush 1992; Cohen, Alcorn, and Potter, 1991; Cooper, Vellve, and Hobbelink, 1992; FAO, 1989; Keystone Centre, 1991; Merrick, 1990; Montecinos and Altieri, 1991; Oldfield and Alcorn, 1987). Nevertheless, the complementarity of both alternatives is not clear, as in most cases the declared or assumed objective of on farm conservation is not very distinct from that of *ex situ* conservation. For both, the goal is to maintain over time the genetic diversity found in the fields.

Based on this objective, the biological reserve model proposed by Iltis (1974) is generally considered appropriate for on farm conservation. This model is based on the belief that the best means for *in situ* conservation is to « freeze » the genetic landscape by isolating it in space and time, maintaining intact the technical, social, and cultural context in which it occurs (Iltis, 1974; Benz, 1988), as it happens in *ex situ* conservation. Cultivation of local varieties would be encouraged and introduction of foreign cultivars and new techniques would be discouraged.

On the other hand, in the various on farm conservation models discussed, local varieties or landraces are considered as the conservation units. The concept used to define a local variety is then close to the concept of a modern one. A local variety is considered genetically defined since there is general concern, in the case of open-pollinated plants, about geneflow or contamination caused by other varieties. A local variety is also considered to be well defined in space: it comes from a particular region and its diversity is the result of local management.

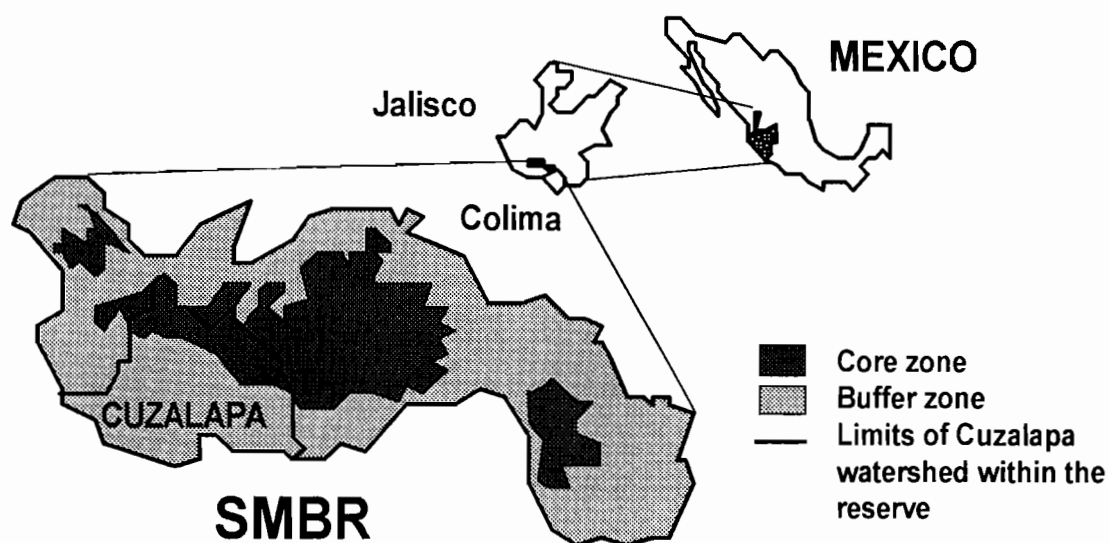
In the indigenous community of Cuzalapa in Western Mexico, traditional maize variety management is not conducted in accordance with these assumptions. The larger study from which the arguments and data presented here are drawn (Louette, 1994) examines the structure of genetic diversity in maize and analyzes the effect of farmers' seed management strategies on this structure. From this study, two specific questions are examined in this paper. Firstly, to what extent can the genetic diversity in the maize varieties of Cuzalapa be attributed solely to the management of materials of strictly local origin? Secondly, how well defined, in genetic terms, is a local variety of an open pollinated plant?

Data on seed sources illustrate the important role of seed acquired from other farmers in and outside the region relatively to seed that local farmers obtain from their own harvests. The amount of seeds used to reproduce the variety and the management of those seeds in space and time call into question the genetic definition of a landrace.

THE VALLEY OF CUZALAPA AND THE SIERRA DE MANANTLAN BIOSPHERE RESERVE (SMBR)

The indigenous community of Cuzalapa is located in a valley in the southern section of the buffer zone of the Sierra de Manantlán Biosphere Reserve (SMBR), in the municipality of Cuautitlán, in the state of Jalisco, on the Pacific Coast of Mexico (Figure 1). Because of the use of the land by the indigenous population since pre-conquest periods, the region was officially recognized as a *comunidad indígena* (indigenous community) under the Agrarian Reform of 1950. Now, however, a large proportion of the 1 500 inhabitants are *mestizos* (of combined European and indigenous ancestry).

Figure 1: Sierra de Manantlan Biosphere Reserve (SMBR) and Cuzalapa watershed location within the Reserve.



The Cuzalapa watershed covers nearly 24 000 ha (most of which lie within the boundary of the Biosphere Reserve) of mountainous land of extremely irregular topography, ranging from an elevation of 550 m to 2 660 m. The agricultural zone, located at low elevations near rivers, on alluvial soils, has a hot subhumid climate, with a mean annual temperature of 22°C and a mean annual precipitation of 1 500 mm, concentrated between June and October (Martínez and Sandoval, 1993; Martínez, Sandoval, and Guevara, 1991).

Each year, about 1 000 ha may be sown in Cuzalapa; of this area, 600 ha are irrigated (Martínez and Sandoval, 1993). Cultural practices continue to be relatively traditional when compared to those found outside the Sierra de Manantlán. Maize (*Zea mays* spp. *mays*) is the dominant crop in the valley. It is grown during the rainy season from June to November, associated with squash (*Cucurbita* spp.), on an average of 2 ha per farmer. It is also planted under irrigation in the dry season, extending from December to May, intercropped with beans (*Phaseolus vulgaris* cv. bayo and bayo berrendo), on an average of more than 2 ha per farmer. Irrigation and intercropping are reported to have been a feature of agriculture in Cuzalapa in pre-colonial times (Laitner and Benz, 1994). Maize and beans are produced essentially for home consumption, some surplus is sold. Yet, the Cuzalapa community is poorly linked to commercial markets.

Cuzalapa is located in one of the most marginalized municipalities of the region, in terms of housing quality and level of education (Rosales and Graf, 1995). At the time of this study (1989-91), these localities were all remote from main roads and urban areas. Based on its farming and socioeconomic characteristics, Cuzalapa is representative of many indigenous, poor, and isolated rural areas in Mexico. It is one of the many traditional communities which are being slowly incorporated into commercial marketing systems while maintaining features of indigenous society.

METHODS

Seed Lot and Variety defined

The concepts used in this work were developed on the basis of farmers' own practices and perceptions. We have considered as a « seed lot » the set kernels of a specific type of maize selected by one farmer and sown during one cropping season to reproduce that particular maize type. A

« variety » or « cultivar » is defined as the set of seed lots held by farmers, that bear the same name and are considered by them as a homogeneous set. A seed lot therefore refers to a physical unit of kernels associated with the farmer who sows it; whereas a variety is associated with a name.

On the other hand, a maize variety is defined as « local » when seed of that variety has been planted in the region for at least one farmer generation (that is, for more than 30 years or if farmers state that « my father used to sow it »). This definition implies that a « local » variety has been cultivated continuously among survey farmers in Cuzalapa for many years. By contrast, a « foreign » variety is characterized either by the recent introduction of its seed lots or by incidental sowing in the valley.

« Landraces » are farmers' varieties which have not been improved through a formal breeding programme. Foreign varieties may include landraces from other regions and commercial improved varieties recently or repeatedly reproduced by farmers using traditional methods.

Documenting the exchange of seed lots and varieties

To document which maize varieties are cultivated and to record the exchange of seeds and varieties in the community and between the valley of Cuzalapa and other regions, 39 farmers (1/5 of Cuzalapa farmers) were surveyed during six cropping seasons covering three calendar years (the 1989, 1990, and 1991 rainy and dry seasons). For each farmer and cropping season, data were collected on varieties cultivated and seed sources. Cultivars included those grown on farmer's own fields, on rented fields, and share cropping fields. Each variety was registered with the name given by the farmer. If a seed introduced from another region had the same name as a local variety but was not considered the same by farmers growing it, a second label was noted in brackets (e.g., « Negro [Foreign] »).

The seed source was classified in three ways: (1) as own seed (seed selected by farmers from their own harvest); (2) as seed acquired in Cuzalapa (seed obtained in the valley of Cuzalapa from another farmer); and (3) as an introduction (seed acquired outside of the Cuzalapa watershed). The origin of a seed lot is defined independently of the origin of the previous generation of seed. A seed lot is considered « own seed » if the ears from which the kernels were selected were harvested by the farmer in his field in Cuzalapa, even though the seed that produced those ears (i.e., the previous generation of seed) originally came from another region. The data therefore give a clear representation of the extent of seed exchange, but they understate the importance of seed of foreign origin introduced in Cuzalapa.

Determining the quantity of seed used per seed lot in each cycle

By surveying 39 farmers during six cultivation seasons, we have been able to determine the volume of each seed lot planted. This was transformed in number of shelled ears considering, for each variety, the weight of one liter of grains, the weight of 100 grains, and an average of 250 grains used as seed per ear. We have analyzed the influence of the effective population size based on the theoretical work of Crossa (1989) and Crossa and Vencovsky (1994).

Monitoring geneflow

To evaluate the risk of geneflow between different varieties, we have studied during three seasons, in an area of 10 hectares, the sowing organization of seed lots in space (localization of the different seed lots on the fields) and in time (sowing date and flowering date). This area corresponded to 7 fields separated by less than 200 meters one from the other (minimum distance considered for reproductive isolation in maize breeding, Hainzelin 1988). Geneflow was then theoretically possible between each of the seed lots sown in the area.

In six farmer's fields, we have evaluated the level of geneflow between seed lots sown on contiguous areas. For this, we used the xenia effect of the color of the grain, and in particular the dominant character of the negro color: an ovule with alleles that give white or yellow color to the grain, fecundated by a pollen with alleles that confer a purple or black color to the grain, will give a purple or black grain at harvest time. The level of geneflow was then given by the proportion of purple or black grains per furrow in the white or yellow varieties, sown on contiguous areas to a purple-grained variety, with a similar growing cycle.

RESULTS

Regular introduction of new varieties

Contrary to the general perception of traditional rural societies in relation to cultivated varieties, we observed that this community does not function as an isolated area. On the contrary, foreign varieties are regularly introduced to be tested.

From the 26 varieties identified, only the cultivars Blanco, Amarillo Ancho, Negro, Tabloncillo, Perla and Chianquiahuitl are local (Table 1). In other words, only these six varieties had been grown continuously for at least one farmer generation in the valley of Cuzalapa. Only the introduction date of the Chianquiahuitl can be traced back to 40 years ago. All can be classified as Tabloncillo race. Although reduced in number, the local varieties cover more than 80% of the area planted with maize. Blanco, Tabloncillo and Perla are white-grained and used essentially to make tortillas, the Mexican staple food. Amarillo ancho is yellow-grained and used for feeding poultry. Negro is purple-grained and is essentially consumed roasted at the milky stage.

The remaining 20 of the 26 varieties that Cuzalapa farmers were growing during the survey period are classified as *foreign*. Each foreign variety covered less than 5% of the maize area planted in each season, and most varieties were cultivated by only a few farmers at a time. The composition of this group of varieties changed from season to season. Only three of these varieties (Argentino, Enano, and Amarillo) had been regularly cultivated over the preceding four or five years by a significant percentage of farmers (10-12%). Most varieties had been used for the first time recently or during the survey period and had been planted again once or twice.

Table 1: Importance of varieties cultivated in Cuzalapa.

Varieties	% Maize area	% Farmers	Grain color
6 LOCAL			
Blanco	51%	59%	White
Chianquiahuitl	12%	23%	White
Tabloncillo	5%	6%	White
Perla	0,4%	0,0%2	White
Amarillo Ancho	8%	23%	Yellow
Negro	3%	34%	Purple
20 FOREIGN			
3 most cultivated			
Argentino	5%	10%	White
Enano	3%	12%	White
Amarillo	3%	11%	Yellow
17 minor varieties	<3% per variety	<4% per variety	mainly White

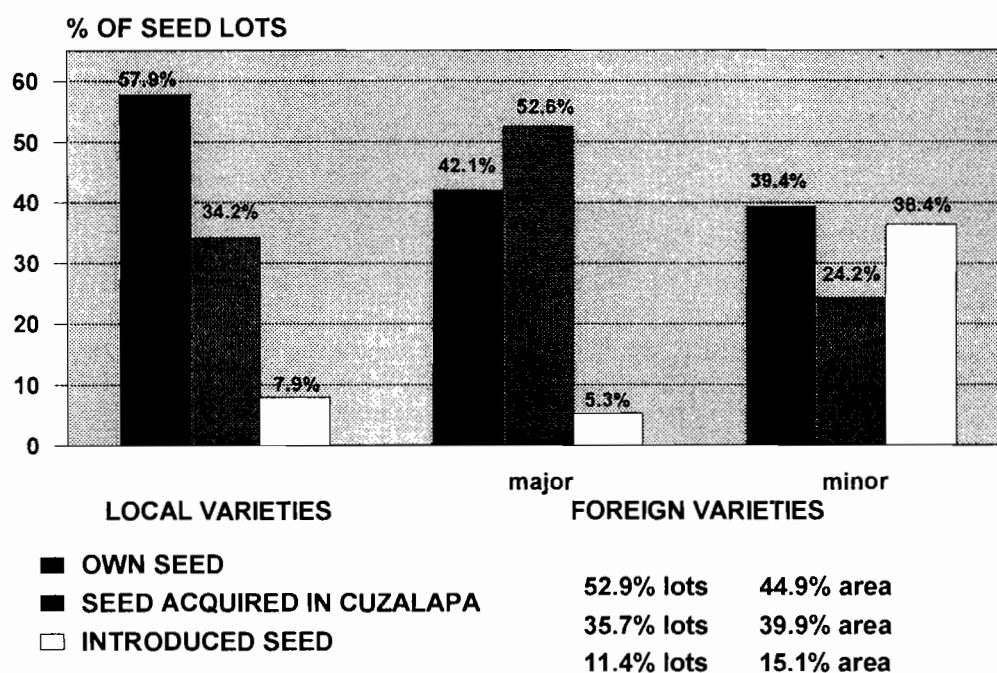
The origin of the foreign varieties is often difficult to ascertain. Farmers are able to indicate in which community they acquired a variety, but not its actual source. Even the original name of the variety can disappear or take on a different meaning when farmers exchange seed. Based on the information collected, foreign varieties can be classified into three groups: farmers' varieties (landraces) (15); farmers' advanced generations of improved varieties (4); and recent generations of improved varieties (1). The group of foreign varieties is morphologically diverse, including white-, yellow-, and purple-grained material and representatives of different races. Most cultivars were introduced from communities of southwestern Jalisco, less than 100 km from Cuzalapa, although the Guino (USA) variety cultivated by one farmer originated in the United States.

Variable composition of a variety

By specifying the geographical origin of each farmer's seed lots, for each variety, in each planting cycle, one can determine and characterize the frequency of seed exchange among farmers and the pattern of variety diffusion.

Many of these seed lots came from other farmers or regions (Figure 2). On average, for all cropping seasons, survey farmers selected slightly more than half (53%) of their seed lots from their own harvest. About 36% of the seed lots were obtained from another farmer in Cuzalapa, and 11% were introduced from other regions. Calculated in terms of area planted, seed from farmers' own harvests represented 45% of the maize area in the study zone, whereas 40% was planted with seed from other Cuzalapa farmers and 15% was planted with foreign introductions. Seed exchange - whether between farmers inside the valley or with farmers outside the valley - is clearly very important.

Figure 2: Origin of seed planted in Cuzalapa by origin of variety.



Both local and foreign varieties were planted from farmers' own seed lots, from seed lots acquired in Cuzalapa, and from introduced seed lots, but in different proportions. Significant differences in origin were associated with the dominance of the variety in terms of planted area (Figure 2). Seed of the most widely grown varieties - including the local varieties and the three most important foreign varieties - is less likely to have been obtained from farmers outside Cuzalapa than seed of the more minor foreign cultivars (7.9% of local varieties and 5.3% of important foreign varieties seed lots were introduced, compared to 36% of minor foreign varieties seed lots). Nevertheless, it is difficult to establish a pattern for the minor foreign varieties, because each variety appears to be a special case, defined by the time of its introduction and the number of farmers planting it.

Seed of local varieties is essentially reproduced by each farmer. Among local varieties, farmers manage the seed for Chianquiahuitl and Negro more conservatively. More than 70% of the seed for these varieties is selected from farmers' own maize harvests. In fact, farmers plant such a small area with the variety Negro that, on average, seed equivalent to only 27 ears is required per farmer (Louette, 1994). This amount of seed, if in good condition, is carried over easily from one cycle to the next, and farmers do not need to get seed from another farmer. Chianquiahuitl is a variety of unknown origin that is believed to be no longer widely cultivated outside the study zone, so out of necessity, farmers in the Cuzalapa Valley must rely on their own stocks.

The case of Blanco contrasts with that of Chianquiahuitl. Of all the local varieties, Blanco has the highest proportion of seed obtained from farmers outside the study zone (15%). This result reflects the importance of Blanco in terms of area cultivated in Cuzalapa and regions nearby. Because Blanco is important for household subsistence, an insufficient number of ears suitable for seed may remain at planting time. Farmers then search for seed from other farmers in and outside the community.

Farmers use an important percentage of own seed lots for both major and minor foreign varieties (42.1% and 39.4% respectively), in the first case to reproduce them and in the second case to test

foreign varieties over several seasons. Major and minor foreign varieties can be distinguished on their pattern of diffusion. The percentage of seed brought from other regions is small for the most widely grown foreign varieties (5,3%), while for some of the minor varieties introduced late in the survey period all seed lots were introduced (average 36,4%). On the other hand, farmers in the valley exchange much more frequently seed of the major (52,6%) than of the minor foreign varieties (24,2%). Major varieties were introduced some years ago, and because they have demonstrated characteristics of value, their seed is redistributed to other farmers in Cuzalapa. In contrast, survey farmers who did not plant the minor varieties during the study period are presumably not yet convinced of their advantages and don't look for seed.

In summary, there is a moderate level of diffusion of local varieties inside the watershed and little infusion from other regions. Recently introduced foreign varieties are infused from outside the valley. Older foreign varieties that have attained a moderate level of acceptance are also diffused inside the watershed. The pattern of diffusion of the varieties is therefore linked essentially to the local acceptance of the variety, the time it has been sown in the region, and the availability of seed inside and outside the region.

The general patterns of maize seed exchange that we have just described nevertheless conceal major differences among survey farmers. Three major groups can be identified.

At one extreme, we find 17 farmers who essentially use seed selected from their own maize harvests. They sow the same varieties regularly and only modify the proportion of maize area planted with each variety in every cropping season. These farmers are considered suppliers of seed of local cultivars (« they always have seed »).

Fourteen farmers use their own seed lots in addition to seed acquired in the community or introduced from other regions, and the proportion of each type of seed vary from season to season depending on each farmer's objectives and constraints. These farmers are generally regarded as suppliers of introduced seed, and some are known in the community for their curiosity concerning new varieties.

At the other end of the spectrum are six farmers who have never used their own seed lots (0% of own seed lots) and had recourse throughout the study period to seed acquired within and outside the Cuzalapa community. This group of farmers includes those who do not have rights to land and cannot plant maize each season and those who farm small areas on which they cannot harvest enough maize for both family consumption and seed. Farmers in this group are obliged to look for seed from other farmers when they want to plant maize.

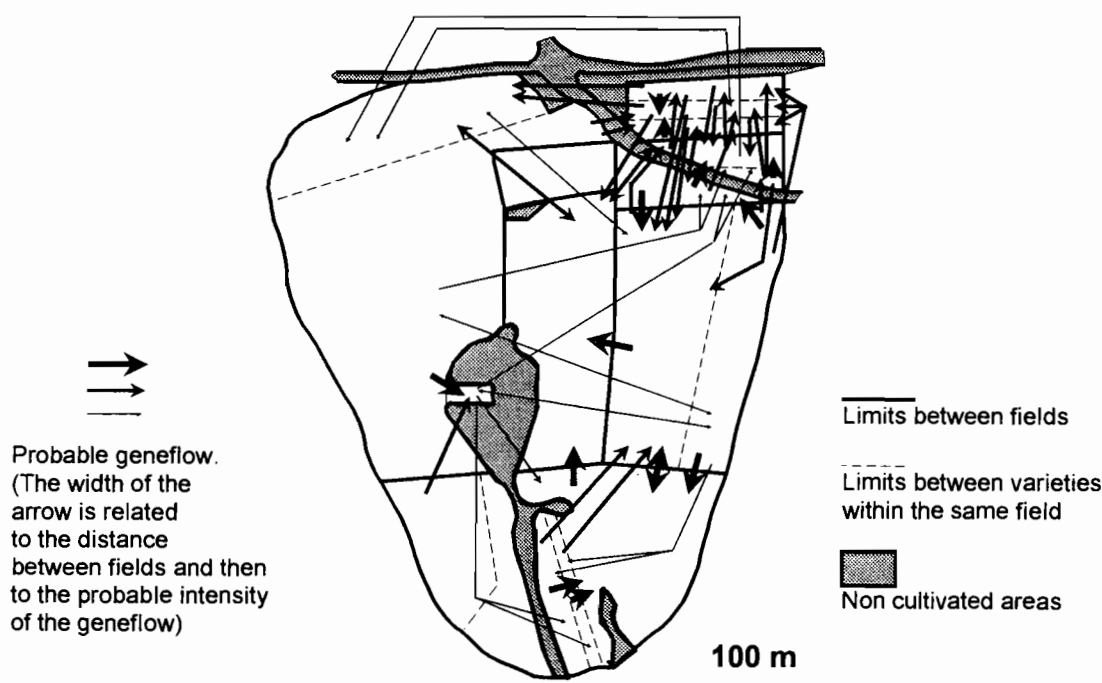
A relationship exists between the number of varieties (different seed lots) sown by each farmer in each cycle and farmer type. The correlation coefficient between the number of varieties per cycle and the proportion of the farmer's seed stocks originating from his own harvest is 0,5. In general, farmers who more often use seed produced by other farmers, appear to plant fewer varieties per cycle. For example, the group of farmers who sowed more than 90% of their crop with seed from their own harvest planted an average of 2,6 varieties per cycle, while those who used no seed from their own harvests planted an average of only 1,3 varieties per cycle. This finding may reflect either a greater reliance on diverse maize types by more conservative farmers, or it may reflect the fact that searching for seed from other farmers requires more effort and is therefore associated with fewer varieties sown.

Gene flow

The survey and the observation of the sowing pattern in an area of 10 ha during three cultivation seasons indicates that there is no traditional strategy to prevent the sowing of seed lots of different varieties in contiguous areas. A farmer sows on average 2,5 varieties per cycle (one to seven) in the same field, independently of those sown on the contiguous fields. There is no physical isolation between local and foreign varieties and between locally reproduced seed lots and seed lots originating from other areas.

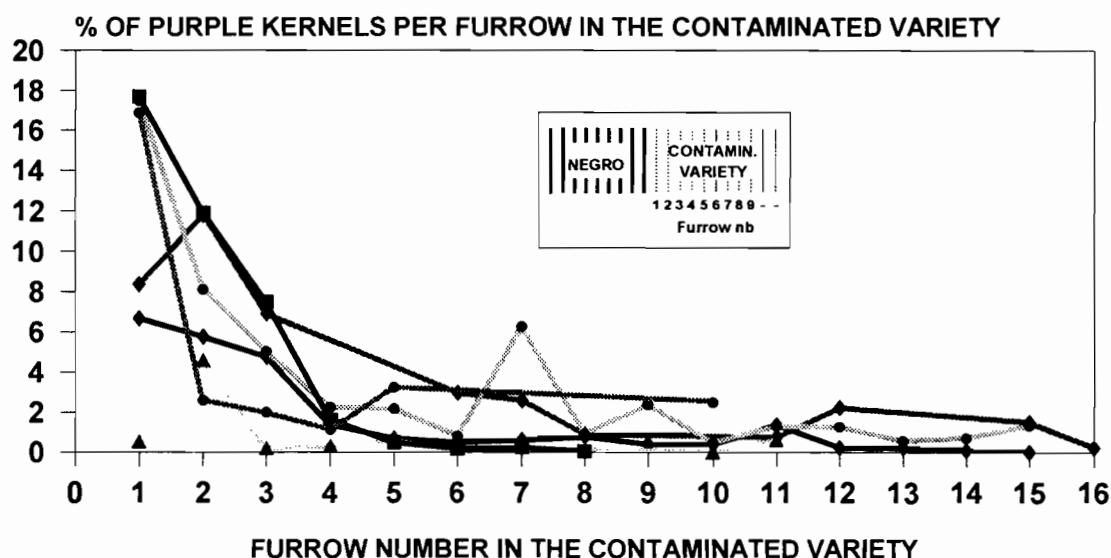
On the other hand, the date of sowing does not lead to a sufficient difference of flowering dates to permit reproductive isolation. Figure 3 indicates the probable gene flow between seed lots during the 1991 growing season, assuming (based on the work of Bassetti and Westgate, 1993), that gene flow is greater when the difference between the male flowering date of a variety and the female flowering date of the other variety is less than five days.

Figure 3: Probable geneflow between maize varieties sown in a 10 ha area during the 1991 irrigated growing season in Cuzalapa.



Observations on six farmer's fields confirmed the presence of geneflow and gave an idea of the level at which it occurs (Figure 4). It was observed, as indicated by literature (Paterniani and Stort, 1974), that the level of contamination of one variety by another diminished rapidly with distance. We observed the presence of 10-20% of purple grains in the first row of the white or yellow variety, leveling down to 1% after the first 2 or 3 meters. The level stabilized then over a great distance. These data are directly related to the evolution of pollen concentration from a contamination source as stated in the literature (Raynor, Ogeden and Hayes, 1972). The level of geneflow is nevertheless greater than the one measured with the number of purple or black kernels, as the Negro variety is not homozygous for grain color. In Cuzalapa, the traditional management of sowing, leading to the development of different varieties on contiguous areas, favors genetic exchange between all cultivar types, independently of the origin and growing cycle of the different varieties.

Figure 4: Geneflow between white or yellow varieties and the negro variety, in six farmer's fields.



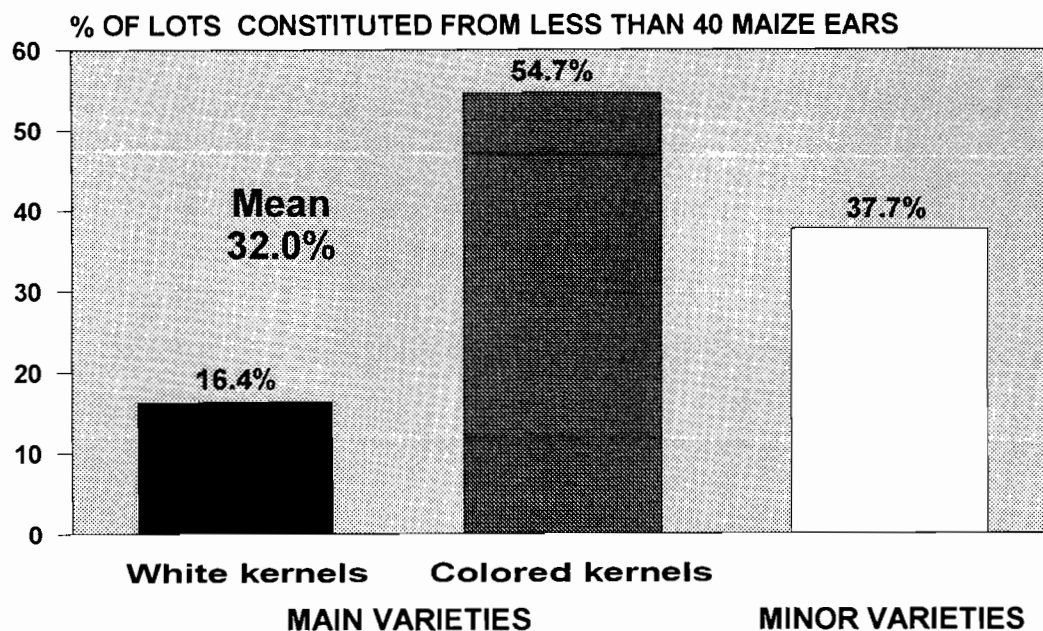
Genetic erosion

The study of the quantity of seed from which seed lots are reproduced provides new elements to confirm the genetic instability of local varieties and shows why geneflow between seed lots is so important in this system. Replanting each variety from small samples of seeds leads to a (theoretical) loss of alleles. For an open pollinated plant, a seed lot constituted from less than 40 ears: (1) does not permit the conservation of alleles whose frequency in the population is less than 3% (rare alleles) and (2) is conducive to the loss of heterozygosis superior to 1% when there are less than 3 alleles per locus (Crossa, 1989; Crossa and Vencovsky, 1994).

In Cuzalapa, as the cultivated area per farmer is reduced (2 ha on average) and various varieties are sown in the same field, the size of the seed lots planted per variety is reduced. More than 30% of seed lots sown during the six cultivation seasons covered by the survey were constituted from less than 40 ears (Figure 5). This phenomenon is particularly important for varieties cultivated in small areas, such as the introduced varieties and the purple and yellow varieties. For the main varieties, the phenomenon is not that important although more than 15% of the seed lots of the Blanco variety were constituted from less than 40 ears.

We conclude that an important proportion of seed lots are subject to a regular reduction of their effective population size, leading to the fluctuation of their diversity with loss of rare alleles. Similar findings have been reported by Ollitrault (1987) in Africa for different crops. If farmers managed seed lots isolated one from the other from a reproductive point of view, the diversity of some seed lots would probably decrease and consanguinity would probably increase, leading to a loss of production potential. In Cuzalapa, this is not the case.

Figure 5: Quantity of maize ears shelled to constitute the seed lots, by type of variety.



Consider, for example, that the genetic diversity of the Negro variety, reproduced from seed lots, 70% of which are constituted from less than 40 ears, is very similar to the diversity of varieties like Blanco, reproduced from bigger seed lots (Table 2). The geneflow, then, is important to restore the genetic diversity of seed lots.

Table 2: Isoenymatic polymorphism of 4 local varieties.

Variety	Sample	Number of alleles per polymorphic locus	Number of rare alleles (frequency <5%)	Frequency of polymorphic locus	Genetic diversity
Blanco	42	3,4 (0,7)	2	66,7	0,39
Amarillo	20	2,9 (0,6)	1	66,7	0,34
Ancho					
Negro	41	3,5 (0,3)	5	66,7	0,38
Chianquiahuitl	32	3,3 (0,3)	3	66,7	0,35

DISCUSSION AND CONCLUSION

Cuzalapa as an open system from the germplasm point of view

The main conclusion of this work is that on farm conservation projects must not consider to isolate a rural community or a variety. The assumption that traditional systems are closed and isolated with respect to the flow of genetic material is clearly contradicted by the results of this study. A small group of local landraces is continuously cultivated, while varieties with diverse origins that are morphologically diverse among themselves and distinct from the local landraces, succeed each other over time. These foreign varieties are introduced for testing by farmers, but they may also be integrated into the group of local landraces. The regular introduction of genetic material by farmers is evidence of their curiosity about, rather than resistance to, the introduction of new cultivars. In Cuzalapa, survey farmers clearly sought new or different genetic materials from among foreign varieties. Similar results have been reported by researchers investigating the use of rice (Dennis, 1987), maize (Bellon and Brush, 1994), bean (Sperling and Loevinsohn, 1993) and potato varieties (Brush, Carney, and Huaman, 1981). Dennis (1987) and Bellon (1995) characterize similar situations as an « excess of diversity » with respect to what is necessary to keep the agricultural system functioning.

Rather than displacing local cultivars, foreign varieties occupy a small proportion of the area planted with maize, and local landraces continue to dominate the maize area in Cuzalapa. Introduced varieties are more often used in a complementary rather than substitutive way, as compared to the dominant cultivars (Berard *et al.*, 1991). Introductions do not necessarily lead to a large shift away from local cultivars.

The system of seed exchange that has been described by farmers and observed in Cuzalapa appears « traditional » in the sense that it is customary and long-lived. It is likely that the major findings reported can be generalized to other rural areas of Mexico, because the factors that explain the seed exchange system in Cuzalapa appear neither new nor specific to this region

A local variety as an open genetic structure

Another major research finding concerns the definition of a local variety itself. The magnitude of seed exchange among farmers and the fluctuation of the diversity of seed lots, caused by the amount of seed used and by the regular gene flow between seed lots, raise questions about farmers' concepts of a variety and the distinction between « local » and « foreign » varieties.

First of all, in Cuzalapa, it is not only the set of cultivars, but also the set of seed lots which constitutes the cultivars, that vary in time. A certain number of seed lots disappear in each cropping cycle because they are not replanted by the farmer who selected them; on the other hand, one seed lot may evolve into a number of seed lots once farmers begin to exchange seed. The composition of the group of seed lots that constitute a variety is mutable over time.

On the other hand, the geographical boundaries of a « local variety » turn out to be beyond those of the community itself. Introduced seed lots that phenotypically resemble seed of local landraces are integrated into local varieties. The genetic diversity of a variety is traceable within an area larger than

the community itself. No geographical scale can probably define correctly a variety. This practice may be a mean for adding diversity to locally adapted cultivars.

Finally, seed lots are submitted to the fluctuation of their diversity, due to the changing amount of seed from which they are reproduced and due to the continuous geneflow they receive from other seed lots. Contrary to the current concept of variety, traditional cultivars are not genetically stable populations.

A farmer variety is therefore mutable in terms of the number, origin, and genetic composition of the seed lots that compose it. In and of themselves, local varieties constitute systems that are genetically open. A landrace is not a stable genetic structure that can be clearly defined for conservation purposes.

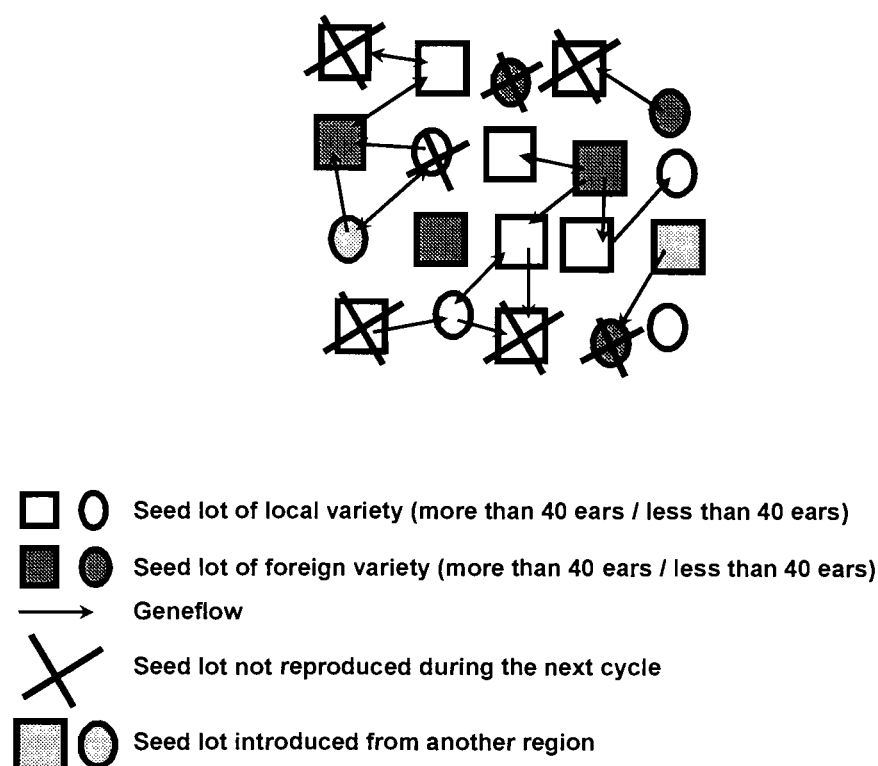
Metapopulation structure

At the watershed level, the set of seed lots of the different varieties that are sown can be compared with a metapopulation structure, defined as a group of populations submitted to local extinction and interconnected by geneflow (Olivieri and Gouyon, 1992; Slatkin and Wade, 1978) (Figure 6). Each seed lot constitutes a population of the metapopulation. Some seed lots disappear, new ones appear and geneflow is common between different seed lots.

From models developed on metapopulation structures, we know that, in this type of structure, the genetic integrity of each population is not conserved. What is maintained is the global diversity: what is lost in one population can be conserved in others. This structure warrants the conservation of the global allelic diversity (Varvio *et al.*, 1986).

In this structure, the phenotypic diversity is created and maintained by selection pressures and reduced geneflow (David, 1992; Dickinson and Antonovics, 1973; Hedrick, 1986). If the level of geneflow is too high, it leads to general homogenization of the characteristics of the different populations (Slatkin, 1987). Different selection pressure over different populations leads to genetic and phenotypic differences between populations. In our case different environmental selection pressures (different niches) and different selection criteria for different varieties permit the differentiation between varieties.

Figure 6: Metapopulation in Cuzalapa.



Varieties maintain their phenotypic integrity due to conservative farmer selection but evolve in genetic terms. Therefore the traditional management of maize in Cuzalapa leads more to the conservation of a general level of diversity than to the conservation of stable and distinct maize populations.

Implications for *in situ* conservation

The fact that the maize farming system in the Cuzalapa watershed is an open system with respect to genetic material contrasts with the original on farm conservation model, in which farmers would be encouraged not to change their cultural practices or introduce foreign genetic material. In this model, the dimensions of the farming system in a region are not perceived as being affected by exchange with other communities, nor is a variety perceived as the product of genetic exchange with materials that may or may not be replanted locally. The strategy of isolating a region based on the idea that introduced seed will displace local varieties or even lead to alterations in their genetic structure seems inconsistent with the mechanisms that generate the diversity we observe. Instead, this case study shows that, in a traditional farming system located in what some regard as the geographical centre of origin of maize, introduced materials represent a substantial proportion of the maize seed planted, and local varieties are not exclusively the product of local seed selection and management.

The seed exchange between farmers and the geneflow between seed lots implies that a seed lot does not evolve as a specific farmer line. Varieties evolve within the entire set of genetic material planted in the region. The diversity found in this region is the result of collective management, as well as local and foreign management. A landrace does not have the features of a stable, distinct and uniform unit. Its diversity is linked to the diversity of the material sown in the area, and related to the diversity of introduced varieties. Foreign varieties, as well as introduced seed lots that are then integrated into local varieties, are probably a source of phenotypic and genetic diversity. It is questionable whether any particular geographic scale would necessarily include all of the factors affecting the « local » varieties. The conservation of diversity of open pollinated cultivated plants in a region is a complex function of the area occupied by introduced varieties versus the area planted with local cultivars, the diversity within and between the introduced and local cultivars, and the extent to which local varieties have been abandoned or substituted. As long as the function of the introduced material is complementary to that of local germplasm, diversity probably increases. When introduced and local materials compete, foreign varieties can displace local material. This displacement could lead to a loss of overall diversity if the introduced material is less diverse or if it replaces several local landraces. It could also lead to a loss of genetic uniqueness of local material. Identifying accurately the factors that affect the extent of genetic erosion, and determining their critical values, are likely to be difficult, especially in such a dynamic system as that of Cuzalapa.

The findings raise important questions about the most effective way to conserve diversity of crop genetic resources. What is the significance of on farm conservation of local varieties and what does it consist of? Is the term « conservation » appropriate? Is a variety the appropriate conservation unit? There is no single answer. The answer will depend on the objective of on farm conservation, as well as the definition of the diversity to be conserved. On this topic the positions are not clear. In most cases, the objectives of on farm and *ex situ* conservation are considered the same. There is a lack of debate about what would be the role of on farm conservation in relation to the efforts of genetic resources conservation.

For example, in the case of Cuzalapa, it seems clear that we can not expect the conservation of the genetic diversity actually present in the watershed. In this case, the conservation of the material in a genebank would be a more appropriate option, provided that appropriate methods are used to collect samples. Equally, *ex situ* conservation would be the best alternative if the objective is to conserve specific alleles.

If conservation of the phenotypic characteristics of the local varieties is considered to be the objective of an on farm conservation project in the zone, it would be sufficient to sow the varieties on areas of adequate size to reduce genetic drift and to ask farmers to select the seed. This material can alternately be sown in farmers fields and conserved in an official or community genebank, as proposed by the agamic model presented by Noirot, 1997.

If the objective is to conserve the characteristics related to environmental adaptation of this material, varieties should be sown in the region for a sufficiently long period to assure that they acquire these

characteristics by gene flow or environmental selection. In this case different varieties can succeed each other in time.

If we want to maintain a high level of phenotypic and genetic diversity, it is necessary to promote the sowing of the largest number of different varieties and ensure a high level of diversity for the introduced material. The massive introduction of varieties with low genetic diversity can lead to a regular reduction of the overall diversity.

The strategy would be completely different if on farm conservation is seen as a mean to promote independence of poor farmers from the input market.

Consequently, we need to redirect the discussion from conservation towards dynamic management and acknowledge what role on farm conservation could play in genetic resources « conservation », before discussing who should do what and how. It has become clear that the proper conservation unit is not necessarily a variety but a group of cultivated varieties in their subdivision and mixture (Berg, 1992). We must focus on the mechanisms which influence the metapopulation formed by all foreign and local varieties. Thus, what is important to preserve is not the genetic material in itself, but the processes that create and preserve genetic diversity.

Nevertheless, whatever the objective of on farm « conservation » is from a genetic point of view, it can be assumed that unless funds are dedicated to the payment of farmers to sow specific material which need to be conserved, the continuous sowing of local material will not be assured unless they have a value for farmers. As soon as a variety loses its value for farmers, it disappears. From a pragmatic point of view, in the short term, some of the ways to reduce the disappearance of traditional varieties which has genetic potential, will be (1) the social revaluation of this local material since a certain amount of varieties are abandoned and replaced by « modern varieties » because farmers do not want to be considered any more as « peasants », as a consequence of 30 years of intensive agriculture philosophy; (2) the revaluation of this material on the market: the yellow and purple varieties of maize are disappearing in Mexico independently of their agronomic and taste characteristics because the Mexican government has stopped buying them; and (3) the collaboration of breeders and farmers for on farm breeding of local materials.

BIBLIOGRAPHY

- Altieri, M. A., and L. C. Merrick. 1987. *In situ* conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. *Economic Botany* 41:86-96.
- Bassetti, P., and M.E. Westgate. 1993. Senescence and receptivity of maize silks. *Crop Science*, 33, 275-278.
- Bellon, M. R. 1995. The dynamics of crop infraspecific diversity: a conceptual framework at the farmer level. *Economic Botany* 50:26-39.
- Bellon, M. R., and S. B. Brush. 1994. Keepers of maize in Chiapas, Mexico. *Economic Botany* 48:196-209.
- Benz, B. F. 1988. *In situ* conservation of the genus *Zea* in the Sierra de Manantlán Biosphere Reserve. Pages 59-69. In Recent advances in the conservation and utilization of genetic resources: Proceedings of the Global Maize Germplasm Workshop. CIMMYT, Mexico D.F., Mexico.
- Bérard, L., A. Fragata, A. de Carvalho, P. Marchenay and J. Vieira da Silva. 1991. Cultivars locaux, éthonobiologie et développement. Pages 78-84. In La conservation des espèces sauvages progénitrices des plantes cultivées. Collection Rencontres Environnement, n°8. Actes du colloque organisé par le Conseil de l'Europe en collaboration avec l'Office des Réserves Naturelles d'Israël. Conseil de l'Europe, Strasbourg, France.
- Berg, T. 1992. Indigenous knowledge and plant breeding in Tigray, Ethiopia. *Forum for development studies*, n°1, 13-22.
- Brush, S. B. 1992. Farmer's rights and genetic conservation in traditional farming systems. *World Development* 20:1617-1630.
- Brush, S.B., H.J. Carney, and Z. Huaman. 1981. Dynamics of Andean potato agriculture. *Economic Botany* 35:70-88.
- Cohen, J. I., J. B. Alcorn, and C. S. Potter. 1991. Utilization and conservation of genetic resources: International projects for sustainable agriculture. *Economic Botany* 45:190-199.

- Cooper, D., R. Vellve, and H. Hobbelink (eds). 1992. Growing diversity: Genetic Resources and local food security. IT Publication, GRAIN, London, England.
- Crossa, J. 1989. Methodologies for estimating the sample size required for genetic conservation of outbreeding crops. *Theor. Appl. Genet.* 77(2) :153-161.
- Crossa, J. and R. Vencovsky. 1994. Implication of the variance effective population size on the genetic conservation of monoecious species. *Theor. Appl. Genet.* 89 (7-8) : 936-942.
- David, J. 1992. Approche méthodologique d'une gestion dynamique des ressources génétiques chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Thèse de doctorat en sciences, INA-PG, 130 p.
- Dennis, J. V., Jr. 1987. Farmer management of rice variety diversity in northern Thailand. Unpublished Ph.D. dissertation, Cornell University. Michigan. University Microfilms, Ann Arbor. USA.
- Dickinson, H., and J. Antonovics. 1973. Theoretical considerations of sympatric divergence. *The American Naturalist*, 107 (954), 256-274.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1989. Ressources phytogénétiques : Leur conservation *in situ* au service des besoins humains. FAO, Rome, Italy.
- Hainzelin, E. 1988. Manuel du producteur de semences de maïs en milieu tropical. 30 questions-réponses élémentaires. IRAT/CIRAD, France, 136 p.
- Hedrick, P.W. 1986. Genetic polymorphism in heterogeneous environments : a decade later. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 17, 535-566.
- Iltis, H. H. 1974. Freezing the genetic landscape: The preservation of diversity in cultivated plants as an urgent social responsibility of plant geneticist and plant taxonomist. *Maize Genetics Cooperation News Letter* 48:199-200.
- Keystone Center. 1991. Final consensus report: Global initiative for the security and sustainable use of plant genetic resources. Third Plenary Session, 31 may - 4 june 1991. Oslo, Norway, Keystone International Dialogue Series on Plant Genetic Resources, Oslo, Norway.
- Laitner, K., and B. F. Benz. 1994. Las condiciones culturales y ambientales en la reserva de la biofera Sierra de Manantlán en tiempo de la conquista: una perspectiva de los documentos etnohistóricos secundarios. *Estudios del hombre*, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México. 1:15-45.
- Louette, D. 1994. Gestion Traditionnelle de variétés de maïs dans la réserve de la Biosphère Sierra de Manantlán (RBSM, états de Jalisco et Colima, Mexique) et conservation *in situ* des ressources génétiques de plantes cultivées. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, Montpellier, France. Martínez and Sandoval 1993
- Martínez R., L. M., J. J. Sandoval L. and R. D. Guevara G. 1991. Climas de la reserva de la biosfera Sierra de Manantlán y su área de influencia. *Agrociencia* 2:107-119.
- Martínez R., L. M., and J. J. Sandoval L. 1993. Levantamiento taxonómico de suelos de la subcuenca de Cuazalapa, Sierra de Manantlán, JAL. *Terra* 11:3-11.
- Merrick, L. C. 1990. Crop genetic diversity and its conservation in traditional agroecosystems. Pages 3-11 In M.A. Altieri and S.B. Hecht, eds. *Agroecology and small farm development*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Montecinos, C., and M. A. Altieri. 1991. Status and trends in grass-roots crop genetic conservation efforts in Latin America. CLADES and University of California, Berkley, California, USA.
- Noirot, M., Dussert S., Berthaud J. Et Hamon S. 1997. Le complexe agamique : un modèle pour la conservation des ressources génétiques chez les plantes allogames. Actes du colloque «Gestion des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes ». BRG, IER, Solagral, Paris France.
- Oldfield, M. L., and J. B. Alcorn. 1987. Conservation in traditional agroecosystems. *Bioscience* 37:199-208.
- Olivieri, I. and P.-H. Gouyon. 1992. Evolution des métapopulations et biodiversité. Pages 329-336 In Actes du colloque international en hommage à Jean Pernes. Complexes d'espèces, flux de gènes et ressources génétiques des plantes, 8-12 janvier 1992, Bureau des Ressources Génétiques, Paris, France.
- Ollitrault, P. 1987. Evaluation génétique des sorghos cultivés (*Sorghum bicolor* M. Moench) pour l'analyse conjointe des diversités enzymatique et morphophysiologique. Relation avec les sorghos sauvages. Thèse de doctorat Université Paris XI, Centre Orsay, 187 p.
- Paterniani, E., and A.C. Stort. 1974. Effective maize pollen dispersal in the field. *Euphytica* 23 :129-134.

- Raynor, G.S., E.C. Ogden, and J.V. Hayes. 1972. Dispersion and deposition of corn pollen from experimental sources. *Agronomy Journal*, 64, 420-427.
- Rosales, A.J.J., and M.S.H. Graf. 1995. Diagnóstico sociodemográfico de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán y su región de influencia. IMECIO, Universidad de Guadalajara, El Grullo, informe técnico.
- Slatkin, M. 1987. Gene flow and the geographic structure of natural populations. *Science*, 236, 787-792.
- Slatkin M., and M. J. Wade. 1978. Group selection on a quantitative character. *Proc. Nat. Acad. Sci., USA*, 75(7):3531-3534.
- Sperling, L., and M. E. Loevinsohn. 1993. The dynamics of adoption: distribution and mortality of bean varieties among small farmers in Rwanda. *Agricultural Systems* 41:441-453.
- Varvio, S.-L., R. Chakraborty, and M. Nei. 1986. Genetic variation in subdivided population and conservation genetics. *Heredity* 57:189-198.

STRATEGIES FOR THE CONSERVATION AND USE OF NEGLECTED AND UNDER-UTILIZED CROPS IN THE AFRICAN SAVANNAH : FONIO AND BAMBARA GROUNDNUT

Eyzaguirre P., Thormann I., Goli A., Attère A.F.

IPGRI, Rome, Italie

INTRODUCTION

Farmers of the African savannah domesticated several crops, among them some of the oldest in the African continent. Some like sorghum, cowpea and finger millet are grown in dryland areas around the world. While receiving much less attention than temperate crops, they are nonetheless crops which have garnered some attention from research and plant genetic resource conservation institutions. Other crops such as fonio (*Digitaria exilis*) and bambara groundnut (*Vigna subterranea*) have not spread out of Africa. While they are still important to the food security of rural communities in this vast ecozone, both fonio and bambara groundnut have been relatively neglected by research and conservation agencies and by science in general.

The neglected crops of the African savannah are now gaining increasing attention from scientists (BOSTID/NRC, 1996). Policymakers are also more open to learning about the benefits and potential of these traditional crops as growing economic disparities, market instability, and currency devaluations make food imports and food aid less attractive options than in the past. The growing interest in these crops from outside Africa and within Africa makes it propitious to take stock of where the genetic diversity in these species is located, and how African farming communities can continue to maintain, develop and benefit from these neglected crop genetic resources.

In this paper we examine the case of fonio and bambara groundnut to illustrate how one might analyse the conservation and use status of a crop. This enables us to assess the degree of neglect and trends in uses which affect the overall genetic resources of a crop. We then propose a conservation and use framework for neglected and underutilized crops. The resulting approach can lead to more effective conservation while making these resources more valuable and accessible to rural development agencies and farmers.

Current status of fonio and bambara groundnut genetic resources.

Fonio and bambara groundnut (*vouandzou* as it is known in much of Francophone Africa) are among the first crops domesticated in the African savannah and are still essential to the food security of millions of Africa's farmers. They are particularly important because they occupy micro-environments which would otherwise be unproductive, or they fill niches in the farming cycle providing crucial food security. Both crops are still widely used. There is little indication that their use has declined in terms of the areas under cultivation and the range of uses to which they are put. The tables on production show a slight overall trend towards increasing production. We can assume with a fair degree of confidence that the statistics significantly underestimate the amount and distribution of production of both crops.

Bambara groundnut and fonio have few impediments as they are currently grown and used. Because they are intercropped, grown in small patches, they have not yet encountered major pest and disease problems. Bambara groundnut is like fonio able to « withstand greater water stresses than other pulses and still produce stable yields » (Linnemann & Azam-Ali, 1993, p.24). Its yield per plant and per hectare is low but that is consistent with the rusticity which makes this crop so well suited to the variable environmental conditions and the multiple demands on women's time. From its origins in the dry savannah highlands stretching from the Jos Plateau of Northern Nigeria to the Adamawa Plateau of Cameroon, bambara groundnut has spread to all the savannah areas in Africa unlike fonio which is still largely confined to its centre of origin. Bambara groundnut genetic resources are in the form of ecotypes and landraces maintained by farmers and spread over a wide geographic range. The wide distribution of populations means that there is ample scope for characterization and evaluation of

ecotypes to select those with preferred characteristics, mainly in the plants architecture, e.g. bunched habit and pod yield.

In the areas where fonio is grown, the genetic diversity is now widely distributed and used by farmers in the landraces and ecotypes that they grow. The use of genetic diversity, low input cropping systems and dispersal of fields in time and space confer a hardiness and stability to production that fits the current uses of fonio. In areas where the crop is a major staple, such as in the Fouta Djallon Plateau of Guinea and Guinea-Bissau, and in the Dogon Plateau of Mali, there are particular ecotypes well adapted to the low soil fertility and short rains making them competitive with other grains under low-input conditions.

At present both crops are remarkably free of pests and diseases (A. Linnemann and S. Azam-Ali, 1993; BOSTID/NRC, 1996). In their present rustic state, grown largely in margins, patches or intercropped, fonio and bambara groundnut do not require major inputs. Fertilizer response is poor and may be counterproductive given the present architecture of both plants and the absence of large, single stand cropping reduces the incidence of pathogens and pests. However, should growing commercialization lead to more intensive production systems and crop improvement, pest and diseases are also likely to find these crops more inviting.

Anecdotal evidence on the market value of these crops in countries where they are grown tends to confirm that they receive a good price, higher than other small grains in the case of fonio and higher than groundnut *Arachis hypogaea* in the case of bambara groundnut. The fact that the price remains competitive implies that there is a growing demand for the crops. This reflects two factors. One is that they have a high value in the local food cultures. They are foods that are used at important occasions, and the organoleptic qualities of both crops are highly appreciated. Two is that they require local processing which adds value and provides additional income to the rural women who do the bulk of the growing and processing. Bambara groundnut is most often sold as a snack food which is processed in a variety of ways.

In the case of fonio, the main constraint is in the threshing, and milling. The very small fonio grains are quite hard to keep clean and separate from sand and other impurities. The laborious milling and cleaning process is something which women manage and are the main source of added value to this crop. So while in many places both men and women may be involved in the cultivation, women are the primary ones involved in the processing and marketing for sale. Small scale processing initiatives to produce clean and pre-cooked fonio have done much to boost sales in cities such as Bamako.

Of the two, bambara groundnut has begun to receive attention from scientists in developed and developing countries (Heller, Begemann and Mushonga, eds., 1997). Fonio has yet to receive any formal attention that links genetic diversity, crop improvement, and genetic resource conservation, although important collections and studies of this crop were made in the pre-independence period (Portères, 1957).

Status and potential threats of genetic erosion of fonio and bambara groundnut

In summary, the genetic resources of these two crops have been inadequately characterized, but we suggest that the genetic diversity of these resources are not under immediate threat of genetic erosion. This is due to several factors:

- the genetic resources exist mainly in the form of a wide range of ecotypes;
- the ecotypes and landraces are widely distributed in their centres of origin, secondary centres of diversity and similar environments where the crops are grown;
- the extent of cultivation has remained stable or has increased in several cases;
- where information is available the prices for these products, and their role within the food systems of the savannah have remained stable.

The environmental and agricultural situation in the African savannah is rapidly changing. Social and environmental changes including desertification have caused human population movements as well as the isolation of some crop populations. This could have an effect on the demand for and availability of germplasm and the germplasm flows that are essential to maintain the genetic diversity, adaptive properties, and vigour of the landraces.

Lack of seed and seed storage facilities for these crops is often mentioned as a constraint to their expansion even in areas where they would perform well vis a vis other potential crops. Population shifts have exacerbated labour shortages in the rural communities of the African savannah. While they require less labour to grow, both fonio and bambara groundnut are laborious to harvest and process. Investments in the post-harvest and processing are crucial to any efforts to maintain or expand the use of these crops.

There are indications of a growing demand for these crops outside their centres of origin and diversity in the African savannah. For example the recent publication by the U.S. National Academy of Science (BOSTID/NRC, 1996) has focused attention on the unique nutritional advantages of fonio's high protein content and easy digestibility. Growing demands for this nutritious novelty grain in developed countries and urban markets may lead to an increase in the use of accessions maintained in collections outside Africa. In the case of neglected crops such as fonio and bambara groundnut, the bulk of the genetic diversity is in farmers fields, uncharacterized and in use. It will be urgent to characterize and maintain the main portion of genetic diversity which is still found in farmers fields and granaries throughout the main centres of cultivation in the savannah. We suggest that supporting farmers' use of these crops across a wide area and under different conditions and for multiple purposes remains the best insurance against genetic erosion.

The brief description of fonio and bambara groundnut is based on the research and conservation actions carried out to date. They are important indicators not so much of the diversity but rather of the potential that exists for characterising it and using it in crop improvement. At the same time there is the risk that accumulated neglect by research and development may lead to the decline in the use and distributions of these crops. Given the fact that genetic resources of these crops have not been adequately sampled and conserved, the loss of diversity and genetic resources in farmers' fields may lead to the loss and genetic erosion of these crops at time when new technologies and new markets may make these crops important economic and nutritional resources for the farmers and cities of the African savannah. Currently, given the limited efforts at formal conservation in genebanks, characterization and evaluation of these genetic resources provides little insurance.

Towards a Complementary Conservation Strategy for Neglected and Under-utilized Crops

The interaction or feedback that exists between the neglect and the use of a crop lies at the heart of a conservation and use strategy for « minor crops ». For this reason it is important to define what we mean when we use the terms neglected and under-utilized to refer to the genetic resources of crop, forage and forestry species. First of all, neglect and under-utilization are social terms not biological. There is also a confusion arising from the employing the terms interchangeably, when in fact they are not. The obvious questions when using the terms under-utilized and neglected to refer to a plant are: used by whom? neglected by whom? and why?

Under-utilized refers to the degree and ways in which people use these species. Here we are referring to the uses by farmer and consumers. Neglected refers to the lack of attention that research and development institutions have given these crops in order to exploit the full range of potential uses and increase the value of a species. In summary, neglected crops have been ignored by science and development but are still being used in those areas where they are well adapted and competitive. Under-utilized crops are those which were once more widely grown and consumed and are falling into disuse. As a result, the genetic base for the improvement and even the rescue of some under-utilized species are endangered.

DEFINITIONS

Neglected crops are those which are grown in their centres of origin or centres of diversity by traditional farmers, where they are still important for the subsistence of local communities. They have been, however, neglected by research and conservation.

There has been little work done on improvement, characterization and conservation of the genetic resources of these crops. Despite the neglect, the crop is still grown and maintained by farmers in those areas where it has developed its unique characteristics and where the socio-cultural preferences and use practices remain strong.

Under-utilized crops where once more widely grown but are falling into disuse for a variety of factors, agronomic, genetic, economic and cultural

Farmers and consumers are using these crops less because they are in some way not competitive with other crop species in the same agricultural environment. In many cases, the decline in the species distribution means that populations have been lost along with the genetic diversity which could be used to improve the crop's productivity, plant architecture and agronomic characteristics or enhance qualities valued by consumers and markets.

For both neglected and under-utilized crops we are concerned with increasing their use. This is meant in two ways, extensive and intensive. For the case of under-utilized crops urgent action is needed to stem the decline of the ecogeographic distribution of the crop. We need to maintain and even extend the areas where the crop is grown so that sufficient diversity is available for conservation and improvement. In addition, we need to intensify the uses, as a way of increasing the value of the crop. This applies to both neglected and under-utilized species. Finding or even preserving knowledge about the uses of these crops is important. Also, new uses can be found, as in the case of fonio where par-boiled fonio has introduced a new and growing urban market for this neglected crop.

A key element of any strategy for an under-utilized species is analysis of the constraints to its expanded use. It can be markets which no longer provide outlets and competitive prices for the crop; or it can be changing cultural values and taste preferences, or difficulty in harvesting, storage, or processing. For under-utilized crops, a holistic approach including some formal genetic improvement linked to promotion, markets and consumer preferences is often needed. Increased value of the crop and its genetic resources will result from the growing demand and the expanded growing uses of these species. Some neglected and under-utilized crops can be classed as medicinal foods, or « health foods » thus increasing their value enormously.

Based on the above definitions and analysis we consider both fonio and bambara groundnut to be neglected crops. Crops whose genetic diversity is still largely intact, uncharacterized and not formally conserved. There is great potential for increasing their uses and extending cultivation into other regions outside their origins and centres of diversity in the African savannah. But, the genetic bases of these traditional African crops will need to be secured so that intensification and expansion of cultivation and uses does not erode the genetic diversity which is currently maintained by farmers.

Neglected Crops: Conservation and Use of Genetic Resources

- crop is used mainly in the region where it was domesticated or in its secondary centre of diversity;
- crop that is widely distributed but considered a minor crop or condiment;
- plant grown mainly as land races - rich diversity in ecotypes;
- neglected by science;
- little or no formal crop breeding or improvement;
- few genetic resources have been collected, characterized, conserved;
- genetic diversity has not been enumerated nor evaluated;
- genetic diversity is used and maintained almost entirely by farmers;
- socio-cultural preferences and use practices support its maintenance;
- document and conserve genetic resources for eventual expansion or improvement.

Strategic method for assessing relative state of use and neglect of crop genetic resources

In order to describe the degree of under-utilization and neglect, and to identify trends and gaps in use and knowledge of minor crops, we collected data on annual production and numbers of accessions held in *ex situ* collections. We also compared the numbers of literature references with specific focus on genetic resources. The annual production and the annual area under cultivation were used as indicator for use/under-utilization of a species. The number of accessions and the number of literature references were used as indicator for neglect, i.e. the scientific and research attention given to these crops and brought to the knowledge of the global scientific community. Together these parameters allowed us to compare the relationship between the use and neglect of a crop which proved to be a dynamic way to arrive at priority actions and strategy for conservation.

The global and comparative crop data contained in FAO's global database FAOSTAT were consulted for production and area under cultivation for the time period 1985 to 1994. In many cases, the first sign of neglect of a species is the fact that many countries fail to provide information on crops which are locally important. As a result they are not adequately listed in global databases. For example, out of a list of 30 selected crops, including cereals, small millets, oilcrops, pulses, roots and tubers, spices, fruits and vegetables which have been discussed in the literature as either underutilized or neglected, only ten were listed in FAOSTAT as commodities. Most often these « minor species » are grouped in commodities like « cereals nes (not elsewhere specified) », « pulses nes » etc. This was true also for fonio and bambara groundnut, even though they are among the listed commodities in FAOSTAT. At the global level the information is far from complete as only two African countries were listed producers of bambara groundnut. Fonio was surprisingly more complete with data available for 8 countries.

To arrive at a more complete assessment of the state of use, we searched for more detailed national data in country reports, statistical yearbooks, agricultural census reports, agricultural statistics reports. From the analysis of these national sources, we got the following picture for bambara groundnut and fonio. Bambara groundnut was listed at national level as separate commodity in 9 countries (compared to 2 in FAOSTAT) and fonio in 10 countries (8 in FAOSTAT). The fonio and bambara groundnut production of those countries not listed in FAOSTAT is most likely included in FAOSTAT commodities « cereals nes » and « pulses nes » respectively. Often the annual production given for fonio or bambara groundnut in the national statistics equaled the production figures given for cereals or « pulses nes » in FAOSTAT and in these cases we were able to link the two types of sources.

Even national reports tended to group neglected and under-utilized crops with other major commodities. The estimated annual world production for bambara groundnut is about 330 000 mt (Heller J. *et al.*, 1997), while the annual production, summing the figures given in the national statistics of the nine known bambara groundnut cultivating countries, is only 70 000 mt. The remaining 260 000 mt are still hidden behind some major or « nes » commodities in both national and in global statistics. The same applies for fonio.

Despite the difficulties in sifting and assessing production data on these crops some clear trends emerge when reviewing trends in fonio and bambara groundnut production during the years 1985 to 1994. We observe that annual production is increasing in the majority of the countries, both for fonio in 6 out of 10 countries and for bambara groundnut in 7 out of 9 countries.

We can conclude from the production figures that thus far there is no major threat of genetic erosion due to a decline in use or the loss of important regional populations. However, the limited research and conservation of genetic resources for these crops shows that there is no safety-net in the form of *ex situ* conservation in genebanks. A major indicator of this neglect is the information on germplasm conserved in genebanks, i.e. number of accessions held in *ex situ* collections.

These data were obtained from the FAO World Information and Early Warning System on Plant Genetic Resources (as of December 1995). Fonio is represented with only 376 accessions. (For comparison, maize accessions held in genebanks number 260 171) For bambara groundnut the numbers are a bit more robust with 4 241 accessions. (For *Phaseolus vulgaris* we have 121 331 accessions listed). 47% of the bambara groundnut accessions are held at the International Institute of Tropical Agriculture (IITA) in Nigeria and another 33% in France. The majority of the fonio accessions (65%) are held in France.

The second indicator for neglect was the number of literature references, based on data extracted from the following databases: AGRIS - International Information System for the Agricultural Sciences and Technology, AGRICOLA - Agricultural Online Access, CABI - Commonwealth Agricultural Bureau (International). The time frame considered was 1980-1995, as an indication of recent research attention paid to minor crops. The search used the scientific species names and synonyms, as publications containing only the vernacular name did not necessarily represent scientific research work. We further narrowed the search by using keywords (genetic resources, germplasm, breeding, plant breeding, genes, plant introduction, germplasm release, variety, varieties, plant collection, conservation, genebanks, gene banks, diversity). The average number of literature references were 2 for fonio and 24 for bambara groundnut, compared to *Zea mays* (6 194) and *Phaseolus vulgaris* (1 952).

Table 1: Countries of Origin of the Bambara Groundnut collections held at IITA.

Country	Number of accessions
Benin	27
Botswana	5
Burkina Faso	97
Cameroon	207
Central African Republic	103
Chad	70
Congo	42
Cote d'Ivoire	4
Ethiopia	1
Gambia	11
Ghana	120
Kenya	2
Madagascar	49
Malawi	59
Mali	28
Niger	33
Nigeria	310
Senegal	36
South Africa	1
Sudan	7
Swaziland	11
Tanzania	28
Togo	139
Zimbabwe	245
Zambia	284
Unidentified countries	101
Total	2 008

Complementary *ex situ* and *in situ* conservation approaches

The case of bambara groundnut shows how *ex-situ* conservation by agriculture research centres can complement the role of farmers in maintaining crop diversity. Bambara groundnut seeds are orthodox and can be stored at temperature below 0°C for a long-term conservation. However, the collections of Bambara groundnut available in most national programmes are seldom representative of the range of diversity existing in the farming systems of the respective countries. In part this is due to the fact that missions specifically to collect bambara groundnut are infrequent, normally plant collectors generally take advantage of a collecting mission on a major crop to include sampling of bambara groundnut. Collecting missions primarily devoted to bambara groundnut may need to be organized as interest in the crop grows in many producing countries. Effort is currently being made by IPGRI to provide such a training in the sub-region. In addition given the importance of gender, socio-cultural and use factors in the maintenance of this crop, special attention is needed on the ethnobotanical aspects of genetic resources collecting. The bulk of the bambara groundnut genetic resources are now held in collections of IITA in Ibadan, Nigeria. These collections are held in trust for the countries of the region and are accessible to researchers and other users.

CONCLUSION

Bambara groundnut and fonio exist as crop ecotypes that are noted for their rusticity and adaptation to a wide range of stresses across the African savannah. The first step in the conservation and use strategy is to identify and characterize these ecotypes or crop races that have evolved in relation to a particular local set of environmental and human conditions. While the crops are widely utilized by peoples in the savannah, the genetic diversity within the crops has not been used in crop improvement, nor have the crops been able to move beyond the traditional rural environments where they were domesticated and are maintained. The rapid social and cultural changes in the agrarian

societies of the savannah, imply that if the crops do not claim new niches and uses, they may remain static and eventually less competitive and the result could be genetic erosion.

The indicators for under-utilization and neglect describe the following situation for bambara groundnut and fonio. On the one hand there has been little crop improvement research, there are few accessions conserved in genebanks and very few of them are in the producing countries. On the other hand production is growing slightly. This indicates that most of the diversity is still with the farmers in the field. There is cause for concern however given that there are not many formal efforts devoted to maintaining the diversity of germplasm in the field, in the market and among consumers.

The review of the current state of conservation of bambara groundnut and fonio genetic resources reveals that the bulk of the genetic resources held *ex situ* in genebanks are far from the producing countries and from the farmers that grow the crop. In fact a significant portion are maintained outside Africa. There are some good reasons for this including history and the technical installations needed to ensure the security of long term maintenance. However, policy issues relating to national sovereignty and access may arise. More important, is the need to promote holistic approaches to the conservation and use of genetic resources which can be more difficult when the *ex situ* genetic resources are maintained in countries where the crop is not grown. Finally, the current state of genetic resources has yet to include collections from important growing regions. For example, the largest producer of fonio is Guinea, yet it does not appear as a country of origin for accessions. Linking conservation to use would help to promote collecting and conservation of genetic resources of fonio and bambara groundnut in those countries where they are important components of food security.

Centres for crop introduction in developed countries are looking at the potential uses and improvement of neglected species that are the staple foods of the rural poor in the Third World. This growing attention can help extend the cultivation and increase the commercial value of many neglected species. The Andean traditional grain Quinoa (*Chenopodium quinoa*) is now grown and marketed as high-value crop in North America and Western Europe. In some cases Andean farmers have also benefited. Similarly many of the minor fruit and vegetables that are part of the subsistence farmer's use of biodiversity for survival are also drawing attention to meet the growing demand for novelty foods in the more affluent countries. In general, interest by research and development agencies outside Africa is a positive development, particularly if more can be done to ensure that the genetic diversity, improved germplasm, and benefits are available to the African farmers who developed, maintained and used these crops under difficult conditions over centuries. In this vein, IPGRI works with national programmes in order to ensure that Africa's farmers receive the benefits of genetic resources and that countries have the capacity to conserve and use them. This analysis of genetic resources of two traditional African crops is intended to contribute to the development of national strategies for the conservation and use of the neglected and under-utilized crops so that these resources can be maintained and enhanced for the use in rural development and to contribute to the food security of countries in the African savannah.

BIBLIOGRAPHY

- Acheampong, E., N.M. Anishetty and J.T. Williams. 1984. A world survey of sorghum and millets germplasm. International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy.
- Anishetty, N.M., W.G. Ayad and J. Toll. 1981. Directory of germplasm collections. 3. Cereals. IV. Sorghum and millets. International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy.
- Begemann, F. 1986. Bambara Groundnut: Background Information. International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Genetic Resources Unit, Ibadan, Nigeria.
- Begemann, F. 1988. Ecogeographic Differentiation of Bambara Groundnut (*Vigna subterranea*) in the Collection of the International Institute of Tropical Agriculture (IITA). Wissenschaftlicher Fachverlag Dr Fleck, Niederkleen, Germany.
- BOSTID, National Research Council. 1996. Lost Crops of Africa. Vol. 1 Grains. National Academy Press, Washington, USA.
- Collinson, S. 1997. Evaluating the potential for bambara groundnut as a food crop in semi-arid Africa: an approach for assessing the yield potential and ecological requirements of an underutilized crop. Pp. 81-88 Proceedings of the workshop on Conservation and Improvement of Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.), 14-16 November 1995, Harare, Zimbabwe (J. Heller, F. Begemann and J. Mushonga, eds.). IPK/DSS/IPGRI/ Rome, Italy.

- Cook, A.A. 1978. Bambara groundnut: *Voandzeia subterranea*. p. 15 in Diseases of tropical and subtropical vegetables and other plants. Hafner Press, New York, USA.
- De Lumen, B.O., S. Thompson and W.J. Odegaard. 1993. Sulfur amino acid-rich proteins in acha (*Digitaria exilis*), a promising underutilized African cereal. Journal of Agricultural and Food Chemistry (USA) 41(7):1045-1047.
- Doku, E.V. and S.K. Karikari. 1971. Bambara groundnut. Econ. Bot. 25(3):225-262.
- Doucoure, A. and A. Kamara. 1993. Identification des contraintes de la culture du fonio à Kadiolo: Note d'information. Département de Recherche sur les Systèmes de Production Rurale, Sikasso (Mali). Document DRSPR (Mali) No. 93(13).
- Goli, A.E., F. Begemann and N.Q. Ng. 1991. Germplasm diversity in bambara groundnut and prospects for crop improvement. pp. 195-202 in Crop Genetic Resources of Africa Vol. 2. (N.Q. Ng, P. Perrino, F. Attere and H. Zedan, eds.). IITA, IBPGR, UNEP, CNR.
- Haq, N. 1988. Planting the future. International Agricultural Development (UK) 8(5):13-15.
- Harlan, J.R. 1986. African millets. pp. 21-22 in FAO Plant Production and Protection Paper No. 76. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Harlan, J.R. 1989. The tropical African cereals. pp. 335-343 in Foraging and farming: the evolution of plant exploitation (D.R. Harris and G.C. Hillman, eds.). One World Archaeology No. 13. Unwin Hyman Ltd., London, UK.
- Heller, J., F. Begemann and J. Mushonga (eds.). 1997. Bambara groundnut. *Vigna subterranea* (L.) Verdc. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 9. Proceedings of the workshop on Conservation and Improvement of Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.), 14-16 November 1995, Harare, Zimbabwe. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben, Germany/Department of Research & Specialist Services, Harare/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Jideani, A.I. 1990. Acha, *Digitaria exilis*, the neglected cereal. Agriculture International (UK) 42(5):132-134, 143.
- Jideani, A.I. and J.O. Akingbala. 1993. Some physicochemical properties of acha (*Digitaria exilis* Stapf) and iburu (*Digitaria iburua* Stapf) grains. Journal of the Science of Food and Agriculture 63(3):369-374.
- Jideani, A.I., R.K. Owusu and H.G. Muller. 1994. The effect of cooking on proteins from Acha (*Digitaria exilis*) and durum wheat. Journal of the Science of Food and Agriculture 65(4):465-476.
- Karikari, S.K. 1971. Economic importance of bambara groundnut. World Crops 23(4):195-196.
- Kone, S. 1993. A project to revive the consumption of fonio. Gate (Germany) No. 1, special issue:45-46.
- Linnemann, A.R. and S. Azam Ali. 1993. Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) pp. 13-58 in Underutilized Crops Series No. 1. Vegetables and Pulses (J.T. Williams, ed.). Chapman & Hall Ltd., London, UK.
- Portères R. 1955. Les céréales mineures du genre *Digitaria* en Afrique et en Europe. Journal d'Agriculture Tropical et de Botanique Appliquée 2:349-386, 477-510, 620-675.
- Riley K.W., S.C. Gupka, A. Seetharam and J.N. Mushonga (eds.). 1993. Advances in small millets. Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, India.
- Sanago, Z.J.L. 1988. Test fonio dans la zone de Tominian. Division de Recherches sur les Systèmes de Production Rurale, Institut d'Economie Rurale, Sikasso, Mali.
- Seetharam, A., K.W. Riley and G. Harinarayana (eds.). 1990. Small millets in global agriculture. Aspect Publishing, London, UK.
- Williams, J.T. (ed.). 1995. Underutilized Crops Series No. 2. Cereals and Pseudocereals. Chapman & Hall Ltd., London, UK.

INTEGRATED ORGANISATION OF INSTITUTIONAL AND LOCAL CROP DEVELOPMENT AS A SYSTEM TO MAINTAIN AND STIMULATE THE UTILISATION OF AGRO-BIODIVERSITY AT THE FARM LEVEL

De Boef W.S., Louwaars N.P. & Hardon J.J.

CPRO-DLO, Wageningen, The Netherlands

SUMMARY

Crop development is defined as the complex of maintenance, utilisation and improvement of crop genetic diversity. Two systems, the local and institutional, operate side by side with little interaction. In its present orientation, the institutional system (conservation, plant breeding, seed production, marketing and the associated seed and variety regulatory framework) predominantly reduces and replaces agro-biodiversity at the farm level. In contrast, the local system (crop development by farmers and communities) tends to utilise, maintain, generate and exchange diversity. The orientation and interactions of these systems need to be redefined to increase and utilise the potential of agro-biodiversity more efficiently.

The interactions between different actors of the institutional systems (a.o. conservationists, plant breeders, seed technologists) and farmers need to be intensified and elaborated. These interactions will result in a reciprocal flow of information and genetic materials between actors of the institutional system and farmers. In such an approach, actors in the institutional system stimulate and monitor the utilisation and enhancement of agricultural biodiversity at the farm level, while farmers can select materials from a wider genetic base. This approach thereby accomplishes on-farm management of a larger diversity of plant genetic resources (PGR). The paper concludes that on-farm management of PGR is not only a strategy to complement *ex situ* and *in situ* conservation activities by the institutional system: it could be a basis for a more farmer- and diversity oriented organisation of institutional crop development. Conservation of PGR should not be an isolated activity of genebanks, but it should be incorporated in all interactions among the institutional and local systems of crop development. Options through which diversity and farmer-orientation are integrated to contribute to on-farm management of plant genetic resources are briefly elaborated.

PLANT GENETIC RESOURCES AND CONSERVATION STRATEGIES

Debates on plant genetic resources (PGR) and conservation strategies concentrate on the distribution of conservation responsibilities among involved actors. The Keystone Dialogue Series on Plant Genetic Resources was one of the first fora with a conservation perspective which recognised the on-farm/community system parallel and complementary to the institutional (formal) system. It further emphasised the importance of the enhancement of linkages between formal and informal sectors at the community, national, regional and global level. Keystone recognised *ex situ*, *in situ* and community/on-farm conservation as three complementary conservation strategies (Keystone Center, 1991).

The outcome of the Keystone Dialogue was elaborated in the Convention on Biological Diversity (CBD) in 1992. The CBD however linked on-farm conservation of crop genetic diversity with *in situ* conservation of species diversity in natural habitats. Much confusion on this conservation terminology followed, as the dynamic nature of conservation on-farm appeared not to fit the perspective of PGR conservationists. The term *in situ* conservation may seem appropriate for conservation of species in their (semi-) wild habitats, but it is generally understood that it can not be applied for conservation of genetic diversity (local varieties or landraces) on-farm (Hardon & de Boef, 1993; Hodgkin *et al.*, 1993; Wood & Lenné, 1993; Bellon *et al.*, 1996).

The FAO State of World Report on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (FAO, 1996) has put the terminology back, in a revised version, as elaborated in the Keystone Dialogue. On-

farm/*in situ* conservation (within CBD) at the crop genetic level is renamed on-farm management, while the term conservation *in situ* is reserved for conservation of wild and weedy species at the habitat level. In the paper, we follow the terminology as elaborated by FAO (FAO, 1996).

Another important output of the debate is the recognition by the PGR conservation sector given to the contribution of communities and farmers to conservation. This recognition will pave a way for conservation actions to become more directly linked both with institutional actors' and farmers' activities in crop development (breeding, seeds, etc..). This linkage has often been ignored in the conservation debate, while the impact of sectors as plant breeding, seed production and marketing, and regulatory frameworks on management of PGR on-farm is significant. These sectors construct an institutional and agronomic environment in which diversity is either lost or maintained, or enhanced. Making on-farm management a strong pillar to the conservation of PGR requires a more systems- and diversity oriented approach in crop development. This paper elaborates briefly a system-approach to local and institutional crop development. It suggests options for linkages contributing to on-farm management of PGR.

LOCAL SYSTEM OF CROP DEVELOPMENT

We conceptualise crop development as the complex of maintenance, utilisation and improvement of crop genetic diversity. Hardon & de Boef (1993) introduced the term local crop development as the continuous and dynamic process in which farmers manage crop diversity within specific agro-ecological and socio-economic environments. Elements of local crop development are exchange of varieties, their maintenance and utilisation, their enhancement and seed multiplication, processing and storage. Bellon *et al.* (1996) described this process with seed flow, variety selection, variety adaptation and seed selection and storage as components relevant to dynamics of PGR in on-farm management. Varieties and their seeds are maintained, adopted, adapted, displaced and exchanged in a cyclic and dynamic process of local crop development. Local crop development is built on farmers' knowledge and capacity to innovate with germplasm and seeds.

Figure 1 demonstrates in a simplified and general format the local system of crop development. Before cultivation, farmers choose the variety from their own stock or from variety exchange mechanisms (e.g. local stores, neighbours or relatives). The variety is cultivated, from the harvest an adequate quantity of seeds may be selected for processing and storage till cultivation. A cyclic and continuous process of utilisation of varieties is the result, with the variety exchange component as entry and exit point to other areas for access to and distribution of genetic material. The exchange component gives the local system geographical scope beyond the locality. Some farmers are involved in *commoditised* seed production. These farmers sell their seeds to other farmers or to agricultural stores and middlemen, independent of regulatory institutions.

INSTITUTIONAL SYSTEM OF CROP DEVELOPMENT

The development of plant breeding has resulted in the establishment of what could be indicated as an institutional crop development system parallel to the local system. Components of the institutional system are conservation, plant breeding, seed multiplication, seed marketing and the associated regulatory frameworks. The system is presented in figure 2. The source material for crop development, germplasm, is originally collected from the local systems across the world. Genebanks store the materials, they further have a prominent role in providing access for plant breeders to the worlds' genetic resources. The breeders select their source materials, recombine different materials and start a selection procedure to meet their selection objectives.

These may be recommended by marketing channels, policy makers or based on their own assessment. The products of the institutional system of crop development - seeds of so-called improved varieties - are distributed through marketing channels. The institutional system is regulated through procedures for variety testing, variety registration and seed quality control. Linkages with the farmers (in the local system) may differ for private and public entities within the institutional system. In private companies information on client preferences is obtained principally through marketing channels. Such

channels are less developed in public organisations, in which government policy are often given higher priority than client preference.

Figure 1: Local system of crop development.

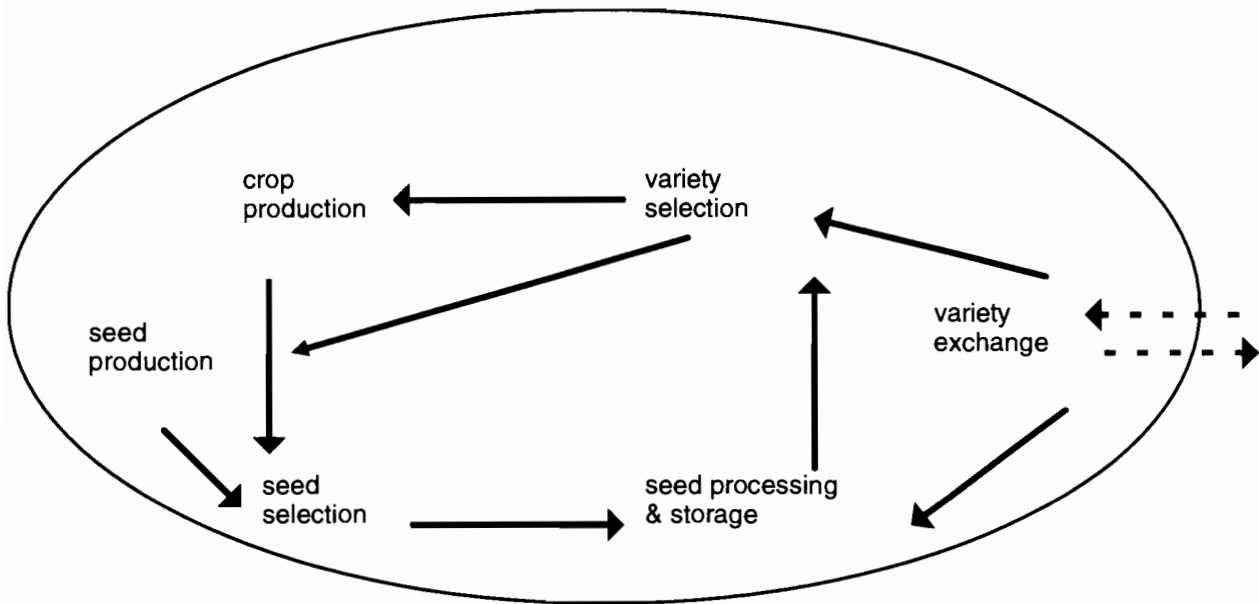
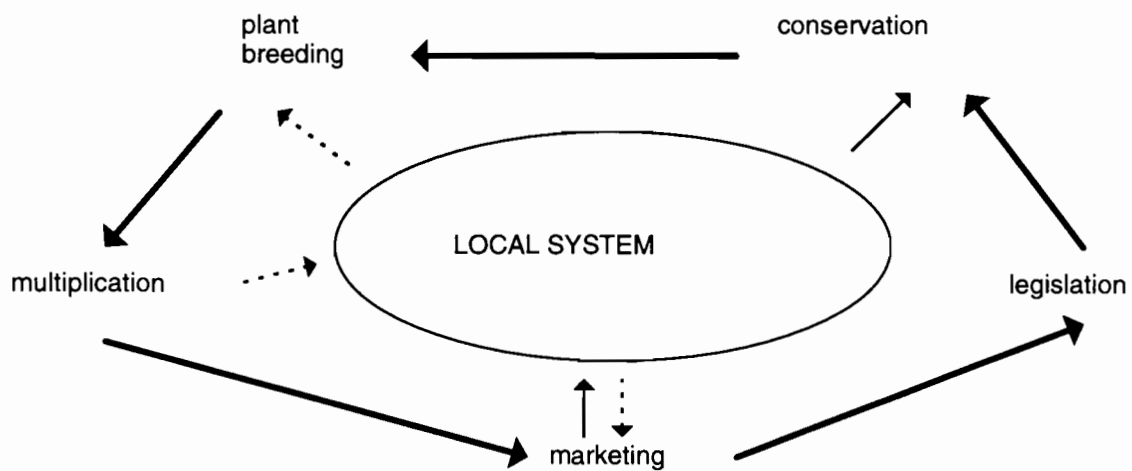


Figure 2: Institutional system of crop development.



EXISTING LINKAGES BETWEEN THE LOCAL AND INSTITUTIONAL SYSTEMS

The linkages between the local and institutional system of crop development are rather limited. The organisational structure of the institutional system has strong roots in the transfer-of-technology paradigm of agricultural research and development. This puts farmers as passive clients at the end of linear process of technology (variety) development.

The institutional system has proven to be successful in highly controlled production environments. For example, commercial gardeners in the Netherlands, an extreme form of agriculture under controlled conditions, purchase all their seeds from companies. These gardeners, like many of their commercial colleagues around the world, form the end of a linear process of vegetable seed production. Another situation, in Europe in general is occurring in arable farming. Where profits decline, cereal farmers use their own seeds to reduce costs.

Similar processes have started to occur in those areas in developing countries where green revolution has moved a majority of the farmers to the cultivation of modern varieties. An example is irrigated rice farming in the Philippines. Most farmers purchased seeds of modern rice varieties on a regular basis. Now, with a changed economic environment of increased fertiliser and pesticide prices, changing cultivation practices (integrated pest management) and changing market demands (higher prices for local varieties), many rice farmers, who grew up as « *second-generation-green-revolution-farmers* » are moving back from improved varieties to local varieties (de Boef *et al.*, 1996).

On the other hand, one of the main products of the institutional system of crop development - modern varieties - has been adopted by farmers in the local system, even though many components of the chain (seed multiplication and dissemination) are weak or not developed at all. High adoption rates of rice and wheat varieties in Asia and Latin America have shown this. Modern varieties once proven to have a higher productivity or possessing locally valued qualitative traits, are easily and quickly spread among farmers through the local system.

A famous example is the rice variety *Mahsuri* in India which spread very quickly through the local system even before being officially released (Maurya, 1989). The efficiency of the local systems in variety diffusion is hardly recognised by the institutional system. The organisational structure of the institutional system is constructed on the basis of a linear process of variety development and dissemination, while the reality is that varieties of especially self-pollinating and vegetatively reproduced crops can be disseminated effectively through the local system (Almekinders *et al.*, 1994).

ENHANCED LINKAGES BETWEEN THE SYSTEMS

Various approaches to enhance the linkage between institutional crop development and farmers' activities have evolved over the last decades. *In situ* conservation and on farm management have been recognised to complement the *ex situ* conservation strategy (IPGRI, 1993; FAO, 1996). Participatory plant breeding and varietal selection aim to involve farmers in the plant breeding process (Berg *et al.*, 1991; Eyzaguirre & Iwanaga, 1996; Hardon, 1996; Witcombe *et al.*, 1996). Integrated seed supply systems are proposed, which build linkages between formal and informal seed supply systems at various levels (Almekinders *et al.*, 1994). Alternative frameworks for variety testing, variety regulation and seed quality control are being developed (Louwaars & Ghijsen, 1996; Tripp *et al.*, 1997).

Various forms of integration and linkage can be developed for different crops. These depend on whether a crop is cultivated for cash-generation or for household-food security. Another important factor is the reproduction system of the crop, introduction and maintenance of diversity of rice, maize or cassava are very different practices, affecting options for linkage. Other important factors influencing the type of interaction between local and institutional systems of crop development are related to the cultural, socio-economic, institutional and political environment.

Figure 3: Integrated organisation of crop development.

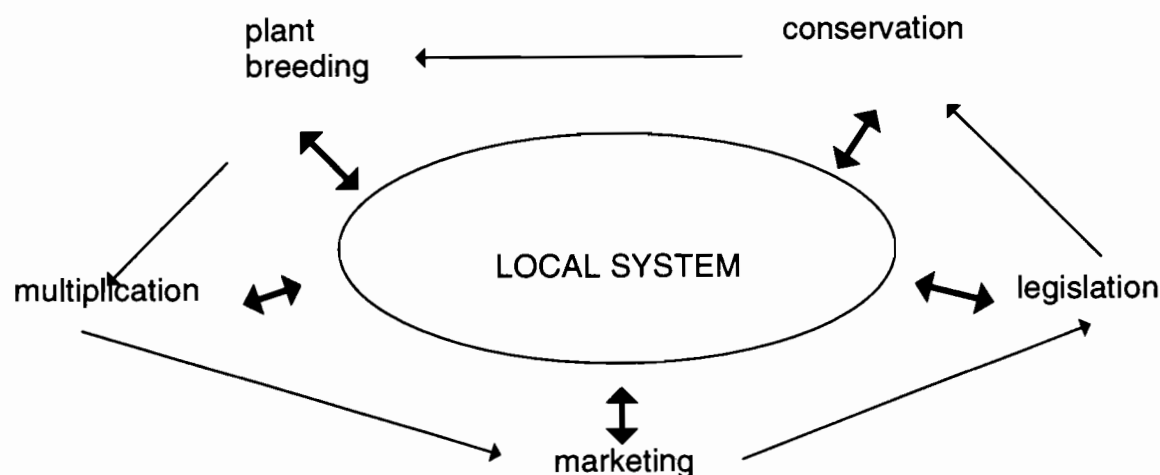


Figure 3 presents the approaches to link the institutional and local system of crop development in a schematic and generalised format. Box 1 presents the options for enhanced linkages with the local system for the different sectors of the institutional system. They are presented separately for the different sectors; the options are, however, highly interrelated and interdependent.

With respect to PGR, box 1 presents some examples of approaches to link institutional conservation to the local system and vice versa. Some of these are briefly elaborated:

- Restoration and (re-) introduction of PGR to rural communities aim to increase access of farmers to both their indigenous and exotic germplasm.
- Supporting and strengthening existing local seed bankers (Benzing, 1989) or those farmers or communities that have a traditional role for maintaining a higher degree of diversity in their community (Dennis, 1987). These farmers and communities have the potential to contribute to institutional efforts in conservation.
- The establishment of community seed banks (Berg, 1992; Magnifico, 1996) to maintain diversity at the rural community level. In such activities, the initiative is mostly initiated by development and/or conservation organisations. The linkage with seed multiplication in the institutional system is apparent. Seed banking activities by NGOs are mostly based on either a seed security, or a strong local empowerment and autonomy perspective to PGR.
- Landrace enhancement is another example of a conservation action with a strong association with plant breeding (Worede & Mekbib, 1993). In landrace enhancement, it could nevertheless be questioned who controls the enhancement: the conservationists or farmers? And with what goals? Crop improvement, continued adaptation or conservation?.
- So far, little information from farmers on their germplasm management is available in documentation and information systems of genebanks. Documentation of indigenous knowledge is an area that requires special attention as it will enhance the quality of the collections. Methods for data collection, processing and management for indigenous knowledge associated to PGR are hardly available. This area broadens the field of PGR management across the boundaries of biological sciences into social sciences.
- Geneticists and PGR-specialists have an important role in monitoring the dynamics of local management of PGR and assessing the impact of interventions of the institutional system on the local system. As farmers may adopt other varieties, stimulated by market forces or government policies, or as diseases may wipe out certain landraces, immediate interventions to collect materials may prove necessary. This specific « *watch dog role* » puts PGR-specialists in a similar role as conservation biologists in conservation *in situ*, to monitor ecological processes. While in

conservation *in situ* in natural habitats, ecological processes are monitored, the focus in management on-farm are the agro-ecological processes of local crop development.

Box 1. Examples of options for interaction with local system for the sectors of the institutional system of crop development.

Participatory plant breeding

1. Inclusion of farmers perspectives in setting breeding goals and criteria
2. Use of locally adapted materials
3. On-farm selection and release
4. On-farm varietal testing

Integrated conservation

1. Re-introduction of germplasm
2. Restoration of local germplasm
3. Community seed banks
4. Landrace enhancement
5. Documenting indigenous knowledge
6. Monitoring on-farm management

Adaptive seed technologies

1. Local seed production agronomy
2. Enhancement of local storage & processing techniques
3. Improvement of variety maintenance
4. Improvement of seed quality

Marketing: seed businesses

1. Decentralisation of seed production
2. Non-cash selling of seeds
3. Assistance to small seed businesses with market information

Open legislation and regulation

1. Acknowledgement of results from on-farm trials
2. Design of appropriate standards for uniformity
3. Participation of farmers variety registration committees
4. Plant variety protection systems rewarding breeders without monopolising varieties (farmers' privilege)
5. Voluntary instead of mandatory procedures
6. Farmers' rights

Enhanced linkages between the institutional and local system can considerably contribute to the conservation and utilisation of biodiversity in agriculture at the farm level. Participation of farmers in institutional crop development is elementary to such enhance linkages. On-farm management of PGR should not be operationalised as a single conservation action, it requires co-operation with the other actors in crop development (plant breeders, seeds people, seed and variety regulators). Such an approach will incorporate conservation aspects into all interactions between the institutional and local system and thereby integrate a diversity orientation into crop development.

ACKNOWLEDGEMENT

For some years, CPRO-DLO researchers participate in the Community Biodiversity Development and Conservation (CBDC) Program with people working directly with farmers' communities in Africa, Latin America and Southeast Asia. Following this partnership in CBDC, Jaap Hardon & Walter de Boef have become involved in assisting the Netherlands Directorate-General for International Cooperation (DGIS) in the implementation of the Convention of Biological Diversity, especially with regards to the enhancement of the utilisation of biodiversity in agriculture. During this work, we have developed a partnership with many researchers active in the area of agro-biodiversity in developing countries. The continuous discussion with our colleagues in the field on how to enhance utilisation of biodiversity in agriculture and what it will contribute to its conservation has made a vital contribution

to concepts and ideas expressed in this paper. The views and reflections are, however, entirely our own responsibility. Finally, we want to thank Conny Almekinders for her comments to this paper.

BIBLIOGRAPHY

- Almekinders, C.J.M., N.P. Louwaars & G.H. de Bruin, 1994. Local seed systems and their importance for an improved seed supply in developing countries. *Euphytica* 78: 207-216.
- Bellon, M., J.-L. Pham & M.T. Jackson, 1996. Genetic conservation: a role for rice farmers. [In] Maxted, N., B.V. Ford-Lloyd & J.G. Hawkes (eds.). *Plant conservation the in situ approach*. Chapman & Hall, London.
- Benzing, A., 1989. Andean potato peasants are seed bankers. *ILEIA Newsletter* 5 (4): 12-13.
- Berg, T., A. Bjørnstad, C. Fowler & T. Krøppa, 1991. Technology options and the gene struggle. NORAGRIC Occasional Papers Series C. Norwegian Centre of International Agricultural Development, Agricultural University of Norway, As.
- Berg, T., 1992. Indigenous knowledge and plant breeding in Tigray, Ethiopia. *Forum for Development Studies* 1: 13-22.
- Boef, W.S. de, T. Berg & B. Haverkort, 1996. Crop genetic resources. [In] Bunders, J., B. Haverkort & W. Hiemstra (eds.). *Biotechnology: building on farmers' knowledge*. Macmillan Press, London.
- Dennis, J.V. Jr., 1987. Farmer management of rice diversity in northern Thailand. Ph.D.-thesis, Cornell University, Ithaca, New York.
- Eyzaguirre, P. & M. Iwanaga, 1996. Participatory plant breeding. Proceedings of a workshop on participatory plant breeding, 26-28 July, 1995, Wageningen, The Netherlands. International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- FAO, 1996. The state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Background documentation prepared for the International Technical Conference on Plant Genetic Resources, Leipzig, Germany, 17-23 June, 1996. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- Hardon, J.J., 1996. Participatory plant breeding. The outcome of a workshop on participatory plant breeding sponsored by Interantional Development Centre, International Plant Genetic Resources Institute, Food and Agriculture Organisation and Centre for Genetic Resources, The Netherlands on 27-29 July 1995. *Issues on Genetic Resources No. #*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome
- Hardon, J.J. & W.S. de Boef, 1993. Linking farmers and breeders in local crop development. [In] W. de Boef, K. Amanor, & K. Wellard, with A. Bebbington. *Cultivating Knowledge. Genetic diversity, farmers experimentation and crop research*: pp 64-71. Intermediate Technology Publications, London.
- Hodgkin, T., V. Ramanatha Rao & K. Riley, 1993. Current issues in conserving crop landraces *in situ*. Paper presented at the On-Farm Conservation Workshop, Bogor, 6-8 December, 1993.
- IPGRI, 1993. Diversity for development. A strategy of the International Plant Genetic Resources Institute, International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Keystone Center, 1991. Global initiative for the security and sustainable use of plant genetic resources: final consensus report of the Keystone International Dialogue Series on Plant Genetic Resources, Third plenary session, 31 May - 4 June, 1991, Oslo, Norway. Keystone Center, Keystone.
- Louwaars, N.P. & H. Ghijsen, 1996. Plant variety protection. Developing countries should adopt alternative schemes. *Prophyta Annual* 1996: 62-64.
- Magnifico, F.A., 1996. Community-based resource management: CONSERVE (Philippines) experience. [In] Sperling, L. & M. Loevinsohn. *Using Diversity. Enhancing and maintaing genetic resources on-farm*. Proceedings of a workshop held on 19-21 June, New Delhi, India: pp 289-301. International Development Research Centre.
- Maurya, D.M., 1989. The innovative approach of Indian farmers. [In] R. Chambers, A. Pacey & L.A. Thrupp. *Farmers first. Farmer innovation and agricultural research*: pp. 9-13. Intermediate Technology Publications, London.
- Tripp, R., N.P. Louwaars, W.J. van der Burg, D.S. Virk & J.R. Witcombe, 1997. Alternatives for seed regulatory reform. An analysis of variety testing, variety regulation and seed quality control.

ODI Agricultural Research and Extension Network. Network Paper 1997. Overseas Development Institute, London.

- Witcombe, J.R., A. Joshi, K.D. Joshi & B.R. Sthapit, 1996. Farmer participatory crop improvement. I. Varietal selection and breeding methods and their impact on biodiversity. *Experimental Agriculture* 32: 445-460.
- Wood, D. & J. Lenné, 1993. Dynamic management of domesticated biodiversity by farming communities. Paper presented at the United Nations Environment Programme Expert Conference on Biodiversity, Trondheim, Norway, 24-28 May, 1993.
- Worede, M. & H. Mekbib, 1993. Linking genetic resource conservation to farmers in Ethiopia. [In] W. de Boef, K. Amanor, & K. Wellard, with A. Bebbington. *Cultivating Knowledge. Genetic diversity, farmers experimentation and crop research*: pp 78-84. Intermediate Technology Publications, London.

OF FARMER REALITIES AND INTERNATIONAL ABSTRACTIONS

Martinez A.R.

GRAIN, Barcelone, Espagne

Although much remains to be learnt on the history of agriculture, one thing is beyond question: the free availability of germplasm, more than any other factor, has enabled farming communities, in the centers of diversity and elsewhere, to select and create the amazing crop diversity we now all depend upon. However, contemporary « development » strategies the entry of an ever growing part of agricultural lands and resources into the global market has led to an emphasis on net output increases based on high-external-input technologies, and a bias for a few uniform, monocropped species. Industrial agriculture requires uniformity, in crops, technology and markets. And in order to meet the requirements of globalised free-trade, only formal, scientific knowledge and innovation based on western paradigms are deemed to merit intellectual property rights (IPRs). The result is unavoidable: the erosion of genetic diversity and the knowledge that created it in the first place.

A high prize is being paid as new lands are turned over for industrial agriculture. Both public and corporate breeder sectors should be alarmed at the genetic erosion going on, that diversity they ultimately depend upon to design their « improved » varieties. More so when the reality is that technology-rich countries (the North) are genetically poor, while many technology-poor countries (the South) are genetically very rich. Yet when back in the seventies the reality of genetic erosion in the wake of the Green Revolution became inescapable, Northern countries and corporations set out to freely collect and store in genebanks all they could of the South's genetic diversity. As a result, today 45,3% of *ex-situ* accessions are to be found in the North, and 10,4 % in the donor-controlled centers of the Consultative Group for International Agricultural Research (CGIAR).

In the eighties NGOs really rang the bell on crop genetic erosion. At the same time the push began for the new biotechnologies. Then, and today, the corporate sector sees these technologies, particularly genetic engineering, a strategic tool to reaffirm global economic control. However, the raw material upon which biotechnology rests, biodiversity, is mostly to be found in the South. Reluctant to kindly offer itself to be exploited for further impoverishment, the South has moved to get control on its genetic wealth, and to ensure that it has an equitable share in the benefits derived from its use. A battle is currently going on for the control of genetic resources in several international negotiations and fora, as I will explain later. Although much too often these negotiations may look as a marketplace, we should not be misled: what is at stake is the future possibilities of farming communities to continue to nurture and develop agricultural diversity. This is, their capacity to have options for cultural survival, livelihood procurement and self-determined development.

PEOPLE'S RIGHTS TO AGRICULTURAL BIODIVERSITY

In international fora, two issues are at the very center of the debate: on the one hand, access to genetic resources, and, on the other, the rights of those who have created and nourished them: Farmers' Rights and the collective rights of indigenous and local communities. Access to agricultural genetic resources is being dealt with in two main fora: the FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture and the Convention on Biological Diversity (see boxes). From our perspective, the International Undertaking on Plant Genetic Resources (IU) a voluntary multilateral system for exchange of germplasm, should become a Protocol to the CBD. Current discussions are centered on (a) the scope of the IU, which plant genetic resources (PGR) should be covered under an international multilateral regime, and (b) on the terms of access to those resources and (c) Farmers' Rights.

Eventually we could end up having different access regimes. Some crops, those traditionally more dependent on a continuous flow of germplasm, or those which are particularly important for global, regional, national and/or local food security, might fall under a relatively open access regime, with the countries of origin (the South) being compensated through a North-financed fund that all countries in the South would have access to. Other crops, such as industrial crops, could be subject to an open regime of access with a bilateral benefit-share system. Finally, some crops could be excluded from the

scope of the Undertaking, and be subject to specialised access agreements between the country of origin and the one requesting the resources.

As to Farmers' Rights, they have been formally recognised in the IU and are to be redefined in the current re-negotiations going on. Introduced due to NGO pressure as a form to counterbalance Plant Breeders' Rights, the concept originally referred to a financial fund for farmers in recognition of their role as creators and stewards of agricultural diversity. However, the lack of real political will and financial resources have kept them as an empty legal figure. Farmers' Rights should be expanded beyond the current compensation frame if farmers are to continue as creators and stewards of agricultural diversity. Farmers should be recognised rights to control over their resources, including the right to participate in any benefits derived from the use of their germplasm and knowledge, the right to freely develop and exchange crop germplasm, and the right to deny access to agents who might privatise it. An expanded concept of Farmers' Rights should then be recognised which acknowledges the collective nature of both genetic resources and associated knowledge.

This was one of the main discussions points during the Fourth International Technical Conference on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (ITC-4) that the FAO convened in Leipzig (Germany), June of 1996. NGOs and many governments pushed for an expanded concept of Farmers' Rights.

Eventually the US delegation managed to include a reference to the individual character of the rights of farmers, in an attempt to stop the development of Farmers' Rights as collective rights under international law. However, the discussion is not closed. In the last meeting of FAO's Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, December of 1996, the African country group came up with a common understanding of Farmers' Rights, incorporating many of the aspects mentioned above. Countries and multilateral organisations have been invited to make proposals for circulation at the next meeting of the Commission, May 1997. This should lead to national and regional consultations with all stakeholders, including farmers, local communities, women's groups and NGOs. Ethiopia will host a regional African Meeting tentatively in April 97. The challenge before us is on how to maximise these consultations to promote real and effective participation of farming communities in the definition of an expanded concept of Farmers' Rights.

The biodiversity rights of « indigenous and local communities » are also being discussed under Article 8j of the CBD. The implementation of this provision was a point in the agenda of the last meeting of the Conference of the Parties, COP 3. There was a lot of procrastinating on establishing some sort of open-ended process, even with major support from many developing and industrialised government delegations. The presence of over 400 indigenous peoples' and plenty of farmer representatives in Buenos Aires added some needed pressure, but at the end only a five day workshop was convened for some time before COP4 (to be held May of 1998 in Montreal), after much bickering over a paltry US\$ 350 000 allocation.

BIODIVERSITY RIGHTS VS. IPRs

Farming, indigenous and local communities see the strengthening of Farmers' Rights and the development of Article 8j as tools that can be used to face up to the North's growing imposition of IPRs on life forms. Such IPRs are being forced upon under two main scenarios: the WTO and the CBD, besides other regional or bilateral agreements.

The Trade-Related Intellectual Property Rights (TRIPs) provisions of the Uruguay Round of the General Agreement on Trade and Tariffs (GATT) and the World Trade Organisation (WTO, international institution in charge of the implementation of the GATT agreements) are the main weapons industrialised countries are using to force all others to adopt western monopolistic IPRs (patents, breeders' rights and copyrights, among others). TRIPs' Article 27.3 (b) commits all WTO countries to adopt patents or an efficient « sui-generis » protection for plant varieties. Nevertheless, developing countries should not feel pressured to run and adopt UPOV-like PBRs, since they have at least until the year 2 000 before they must implement the WTO's intellectual property provisions. And these are to be fully reviewed in 1999.

As to the CBD, it commits parties to recognise intellectual property on « inventions » derived from genetic resources, that is, biotechnological inventions. However, this recognition is qualified by Article 16.5, where countries are required to « ensure that such [intellectual property] rights are

supportive and do not run counter to its [the Convention] objectives ». At the CBD conference of the parties in Buenos Aires in November 1996 some governments and NGO's were pushing so that some real in-depth studies are done on the negative impact of IPRs on biodiversity. Yet the full weight of the trade lobbies was felt, and the feeling was that the CBD is clearly bowing down to the World Trade Organisation.

BOX: THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY

The Convention on Biological Diversity (CBD) states the formal rules of the game for control and access to genetic resources. Its stated objectives are «the conservation of biological diversity, the sustainable use of its components and the fair and equitable sharing of the benefits arising out of the utilisation of genetic resources ». It recognises the sovereignty of States over the genetic resources within their boundaries, with the exception of collections gathered before the Convention's entry into force (1 January 1994). The Convention also commits all countries to the recognition of intellectual property rights on « inventions » or « technology » derived from those genetic resources, as a previous condition to technology transfer.

Although the CBD establishes a general multilateral framework for cooperation and management regarding genetic resources, a wide space is left for bilateral negotiations, in which biodiversity-rich but economically poor countries will negotiate under unequal conditions with rich countries and powerful transnational corporations. And, although it recognises the rights of local and indigenous communities (Art. 8j), these are to be qualified by national legislation.

Article 8. *In situ* Conservation

Each Contracting party shall, as far as possible and as appropriate:

(j) Subject to its national legislation, respect, preserve and maintain knowledge, innovation and practices of indigenous and local communities embodying traditional lifestyles relevant for the conservation and sustainable use of biological diversity and promote their wider application with the approval and involvement of the holders of such knowledge, innovations and practices and encourage the equitable sharing of the benefits arising from the utilisation of such knowledge, innovations and practices.

WHAT PLACE FOR *IN SITU* CONSERVATION?

International recognition of the importance of the *in situ* conservation of plant genetic resources has never been as wide as it is now. This is particularly the case for on-farm conservation, that is, the conservation, management and development of genetic resources by farmers. A clear indication has been the ITC-4 process and its outputs: the Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture and the Global Plan of Action both include on-farm. For those who like GRAIN have been working for years to promote the sustainable management and use of agricultural biodiversity based on peoples' control over genetic resources and local knowledge, this is welcome news.

However, for us, on-farm management of genetic resources goes far beyond a strictly conservationist approach. The question at stake is the ability of farming communities to self-determined sustainable development options. For such on-farm conservation to be possible, a social, legal and economic framework is necessary that guarantees and encourages the free flow of both germplasm and knowledge, the use of locally-adapted varieties, diversified and complex farming systems and the free, unhindered by seed uniformity or standardised market requirements commercialisation of their products.

**BOX: THE COMMISSION ON GENETIC RESOURCES
FOR FOOD AND AGRICULTURE**

The United Nations Food and Agriculture Organisation (FAO) Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture was the first UN body where discussions on Plant Genetic Resources took place. In November 1993, the FAO decided to proceed to the re-negotiation of the International Undertaking on Plant Genetic Resources (IU), a voluntary agreement on the conservation and use of agricultural germplasm adopted by most of FAO member states in 1983, in order to make it more coherent and compatible with the CBD. This includes a re-negotiation of the terms of access to agricultural genetic resources to adapt it to the concept of national sovereignty, and a redefinition of the concept and implementation of « Farmers' Rights » :

Resolution 5/89 on Farmers' Rights

Farmers' Rights mean rights arising from the past, present and future contributions of farmers in conserving, improving, and making available plant genetic resources, particularly those in the centers of origin/diversity. These rights are vested in the International Community, as trustee for present and future generations of farmers, for the purpose of ensuring full benefits to farmers, and supporting the continuation of their contribution, as well as the attainment of the overall purpose of the International Undertaking in order to:

- (a) ensure that the need for conservation is globally recognised and that sufficient funds for these purposes will be available;
- (b) assist farmers and farming communities, in all regions of the world, but especially in the areas of origin/diversity of plant genetic resources, in the protection and conservation of their plant genetic resources, and of the natural biosphere;
- (c) allow farmers, their communities, and countries in all regions, to participate fully in the benefits derived, at present and in the future, from the improved use of plant genetic resources, through plant breeding and other scientific methods.

From GRAIN's perspective, only such an approach to the on-farm conservation of plant genetic resources may guarantee the conservation and further sustainable development of agricultural biodiversity. Half-way paths may be useful to slow the processes of genetic erosion, but not to counter it. An example, let us consider the FAO Global Plan of Action, approved as the world's strategy to counter genetic erosion. Actually, the timid references to on-farm management do not overcome the documents' basic: mainstream agriculture is not squarely pointed out as the main cause of current destruction of genetic diversity.

If we are to be serious on preventing genetic erosion, we should not fall in the same mistake as the Plan of Action. Notwithstanding the vital importance of current efforts to technically improve *in situ* conservation of plant genetic resources, existing initiatives will not go far enough if they fail to acknowledge that on-farm management of plant genetic resources is a political issue. Let us keep this in mind so that in the end we do not wind up merely helping farmers keep their genetic resources alive until private interests come around and monopolise them.

THE GLOBAL PLAN OF ACTION FOR THE CONSERVATION AND SUSTAINABLE USE OF PLANT GENETIC RESOURCES FOR FOOD AND AGRICULTURE

Cooper H.D., Spillane C. and Anishetty N.M.

Plant Production and Protection Division, FAO, Rome

INTRODUCTION

The Global Plan of Action for the conservation and sustainable use of plant genetic resources for food and agriculture (PGRFA) was adopted in June 1996 by 150 countries at the International Technical Conference on Plant Genetic Resources, in Leipzig, Germany. The International Technical Conference also adopted the « Leipzig Declaration » through which governments committed themselves to actively implement the recommendations of the Global Plan of Action. In November 1996, the Plan was further endorsed by the Conference of the Parties of the Convention on Biological Diversity at its third meeting in Buenos Aires, and also by world leaders at the World Food Summit in Rome.

The Leipzig Declaration asserts that « our primary objective must be to enhance world food security through conserving and sustainably using plant genetic resources ». This is therefore an opportune time to look critically at how we can better harness plant genetic resources for sustainable agriculture to meet this objective and to examine the role of the PGRFA conservation system, particularly in relation to meeting the needs of both plant breeders, farmers and of sustainable agriculture in general.

A COUNTRY DRIVEN GLOBAL PLAN OF ACTION

The Global Plan of Action was largely based on FAO's Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture, which the International Technical Conference welcomed as the first comprehensive worldwide assessment of the state of PGRFA conservation and use. Both the Report on the State of the World's PGRFA and the Global Plan of Action were prepared through a participatory country-driven preparatory process. During this process 158 countries prepared and submitted detailed country reports which reviewed the state of conservation and utilization of PGRFA in each country. In the African region, country reports were prepared by 45 African countries.

Following the country report preparation phase, twelve regional and sub-regional preparatory meetings were held at which governments prepared regional synthesis reports and formulated recommendations for inclusion in the Global Plan of Action. In the case of Africa, Sub-regional Synthesis Reports were prepared for the following sub-regions: Eastern Africa, Indian Ocean Islands; Southern Africa; Central Africa; Western Africa; and the Southern Mediterranean. Sub-regional preparatory meetings were held in Nairobi (for Eastern Africa and the Indian Ocean Islands), Kadoma, Zimbabwe (for Southern Africa) Dakar (for Central and Western Africa) and Tunis (for the Mediterranean).

A wide range of non-governmental organizations also participated in this process, both at the national, regional and international levels. The entire process was guided by the Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture which also reviewed the Report on the State of the World's PGRFA and negotiated line by line the final Global Plan of Action. Both the Plan and the Report are major components of the FAO Global System for the Conservation and Sustainable Utilization of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture.

THE GLOBAL PLAN OF ACTION

The Plan consists of 20 activities organized into four main activity areas: *in situ* conservation and development; *ex situ* conservation; use of PGRFA, and institution and capacity building. The following outlines four major emphases that are cross cutting throughout all of the activities of the Plan.

Box 1: List of priority activity areas of the Global Plan of Action

***In situ* conservation and development**

1. Surveying and inventorying plant genetic resources for food and agriculture
2. Supporting on-farm management and improvement of plant genetic resources for food and agriculture
3. Assisting farmers in disaster situations to restore agricultural systems
4. Promoting *in situ* conservation of wild crop relatives and wild plants for food production

***Ex situ* conservation**

5. Sustaining existing *ex situ* collections
6. Regenerating threatened *ex situ* accessions
7. Supporting planned and targeted collecting of plant genetic resources for food and agriculture
8. Expanding *ex situ* conservation activities

Utilization of plant genetic resources

9. Expanding the characterization, evaluation and number of core collections to facilitate use
10. Increasing genetic enhancement and base-broadening efforts
11. Promoting sustainable agriculture through diversification of crop production and broader diversity in crops
12. Promoting development and commercialization of under-utilized crops and species
13. Supporting seed production and distribution
14. Developing new markets for local varieties and « diversity-rich » products

Institutions and capacity building

15. Building strong national programmes
16. Promoting networks for plant genetic resources for food and agriculture
17. Constructing comprehensive information systems for plant genetic resources for food and agriculture
18. Developing monitoring and early warning systems for loss of plant genetic resources for food and agriculture
19. Expanding and improving education and training
20. Promoting public awareness of the value of plant genetic resources for food and agriculture conservation and use

Firstly, the Plan aims to greatly strengthen the links between conservation and utilization, through better information generation and management (Priority Activities 1, 9, 17, 18), by improving the links between conservers and breeders through more integrated national programmes and crop networks, and by promoting more public sector investment in pre-breeding activities (Priority Activity 10). Similarly, the Plan aims to promote not only the greater use of the available diversity of PGRFA, but also the more strategic deployment of genetic resources over both time and geography, which would result in the maintenance of greater diversity in use. It also promotes an integrated approach to conservation, using both *in situ* and *ex situ* approaches and by strengthening the links and complementarities between them.

Secondly, it strongly focuses on action at the national level. Particular attention is given to strengthening national PGRFA programmes through training and capacity building, with a major focus on establishing the necessary co-ordination and planning mechanisms. These are all regarded as pre-requisites to effective action. Whilst two activities of the Plan focus on these areas (Priority Activity 15, and 19), action at the national level is also stressed in most other activities. However, the importance of regional and international collaboration is also recognized. In this respect the Plan gives particular importance to regional and sub-regional networks (Priority Activity 16).

Thirdly, the Plan promotes the fuller and more active participation of farmers and local communities at all levels of planning, decision making and implementation activities or processes relating to the conservation and sustainable utilization of PGRFA. The activity on national programmes (Priority Activity 15) emphasizes the need to involve all stakeholders including farmers and local communities

in the national PGRFA programme, with particular attention to women farmers. One entire activity area is devoted to on farm conservation and improvement of PGRFA (2). Perhaps more significantly, the importance of farmer participation is integral to several other activities. Thus the importance of local knowledge (1) and of involving local communities in collecting (7), *in situ* conservation (4), evaluation (9), participatory plant breeding (11), management and development of under-utilized species (12), and seed distribution (13) is recognized. The specific training needs of farmers and local communities is also addressed (19). Also, the Global Plan of Action contains a special programme to support traditional farming systems in cases of war and natural disasters (3).

Fourthly, the Plan promotes approaches based on the complementarity between the public and private sectors, based on a recognition of the relative strengths of each. The Plan, by its very nature, focuses on activities which need to be supported by public funds, especially at an international level. These activities include long term PGRFA conservation itself (Activities 2, 4 and 5 - 8), as well as other upstream, pre-competitive activities such as germplasm evaluation and pre-breeding, and in particular especially long term programmes to broaden the genetic base of breeders populations. Besides these « public goods », public support is also required to meet the needs of resource poor farmers for improved varieties and seeds, since they are often unable to express an effective market demand (Activities 2, 11 - 14).

IMPROVING THE SUSTAINABLE UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

There is increasing governmental recognition of the central role of PGRFA in sustainable agricultural production, and in addressing food security problems. The 1996 World Food Summit Plan of Action sets out a major challenge: « to pursue, through participatory means, sustainable, intensified and diversified food production » (Objective 3.1). The Conference of the Parties of the Convention on Biological Diversity has called upon countries and international organizations to promote the transformation of unsustainable agricultural practices into sustainable agricultural production adapted to local biotic and abiotic conditions, in conformity with the « ecosystem approach ».

As the Report on the State of the World's Plant Genetic Resources concludes, the better use of plant genetic diversity will be a prerequisite to meeting the challenges of development, food security and poverty alleviation. In particular, greater use of plant genetic diversity will be required in order to produce varieties adapted to the extreme and highly variable environments of low-productivity areas, such as the African Savannah. A concerted and more collaborative effort will be needed to overcome all obstacles to the better use of plant genetic resources for food and agriculture.

Amongst the activities recommended by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity at its November 1996 meeting, countries are encouraged to develop national strategies, programme and plans which focus on what it identifies as the key elements of the Global Plan of Action. These are,

- (a) broadening the genetic base of major crops;
- (b) increasing the range of genetic diversity available to farmers;
- (c) strengthening the capacity to develop new crops and varieties that are specifically adapted to local environments;
- (d) exploring and promoting the use of under- utilized crops; and
- (e) strategies which deploy genetic diversity to reduce crop vulnerability.

Each of these key elements relating to the sustainable use of PGRFA are examined in turn. The key activities of the GPA in this respect are 2, 10, 11, 12 and 14. But many others activity areas such as those on National Programmes and Networks are necessary to provide an essential framework if any such sustainable PGRFA use activities are to be effectively achieved.

Broadening the genetic base of major crops through focused programmes of genetic enhancement (pre-breeding)

Although originally based on landraces, most modern plant varieties, and the populations with which breeders work, consist of « elite » germplasm which has been carefully built up over periods of perhaps ten to fifty years of research. These outstanding genotypes are easily disrupted by crosses with unimproved « exotic » germplasm from landraces or wild relatives. Moreover, many breeders

find that even within a very narrow base, constant improvements can be made in the short term, although these gains are subject to diminishing returns. These factors provide a major disincentive for breeders to access other germplasm sources, that are, apart from specific traits or characteristics, inferior agronomically. Therefore, unless outside sources of germplasm are considered absolutely necessary, breeders will usually try to find new genetic material within their own breeding lines. Over the long term, this leads to a dependence on a narrower and narrower elite germplasm base for crop improvement. The only means of bridging this gap between conservation and plant breeding, is through focused programmes of genetic enhancement (or pre-breeding). Recognizing this, the Global Plan of Action, in its Priority Activity 10, calls for long term financial support for genetic enhancement programmes, starting with the 15 crops of most international and regional importance to food security.

Increasing the range of genetic diversity available to farmers

There is ample emerging evidence that many farmers would benefit from easier access to a larger choice and range of planting materials. This is particularly so for resource poor farmers in marginal areas who do not always have access to suitable improved varieties for their farming systems, because such varieties are not bred, or because of failures in the seed supply system. To address these problems, participatory approaches to crop improvement may provide answers, especially in the context of on-farm conservation and improvement of PGRFA. For instance, it is becoming evident that more suitable varieties might be developed through more decentralized approaches to plant breeding as discussed in the next section.

In many countries, the formal seed sector has only to a limited extent been able to meet the seed requirements of small-scale, often resource poor, farmers. Worldwide, poor seed production and distribution systems are reported to be a constraint in the dissemination of improved crop varieties by 27% of countries providing information. In Africa, however, the figure is 84%, and, consequently, a large proportion of the seed used by farmers is locally- or home-produced. Such seed distribution systems could be strengthened by promoting appropriate on-farm farmer-level seed production activities, and by supporting and strengthening informal seed exchange mechanisms, as promoted in Activity 13 of the Global Plan of Action.

Additionally, it is proposed in the Global Plan of Action that material conserved in genebanks, including unimproved landraces, might be made available for multiplication and distribution of existing planting material to farmers (Activity 2). This is already common for forages, agroforestry species and clonally propagated crops, and there are some examples for other crops too. Such approaches could be combined with appropriate Integrated Pest Management (IPM) and phytosanitary activities, to ensure disease free planting material, wherever possible. Such a « clearing-house » role could be expanded for other crops thus moving material both into and out of genebanks in a more dynamic fashion. This would facilitate the continued selection and adaptation of PGRFA to changing conditions and might be particularly important for under- utilized crops as discussed below.

Strengthening the capacity to develop new crops and varieties that are specifically adapted to local environments

Agricultural production in all regions around the world varies widely. High-potential areas tend to receive many inputs and produce a lot of food, mostly on a commercial basis and often destined for urban markets. At the other end of the scale, mostly smaller farmers - the great majority of farmers in Africa fall into this group - farm marginal areas, often, at least in part, on a subsistence basis. In these areas while increasing food production is certainly a primary concern, maintaining rural populations on the land and preventing any further degradation of land that is already marginal are also important agricultural and social policy considerations. It is now considered likely that these different areas require different approaches to the utilization of PGRFA. Many past successes in research were due to a research focus concentration on high-potential areas (often irrigated or subjected to a high level of inputs) and generic technologies with widespread applications (for example the high-yielding varieties of wheat and rice developed through breeding for wide adaptation).

For low potential areas a different approach to agricultural research is now required based on strategies aimed at farming systems rather than particular crops and involving less reliance on non renewable external inputs. Such approaches require a greater use of genetic diversity, including

approaches to plant breeding which can make use of specific adaptation. The most efficient selection is done in a particular environment not for it. Fitting cultivars to an environment rather than the other way around is especially relevant where inputs are unavailable, too expensive or unprofitable due to a high stress, risky and unpredictable natural environment. The fact that many farmers in such environments are resource poor adds to the complexity and heterogeneity of the environments. Breeding approaches aimed at exploiting rather than avoiding genotype by environment interaction may allow for increasing both productivity and diversity in such agricultural systems. Many of the IARCs are now promoting such decentralized approaches to plant breeding focusing on producing an unfinished range of varieties for further development by national programmes and others. This is based on the idea of giving a « basket of choices » to both farmers and researchers. National systems will require further institutional strengthening and capacity building if this multi-disciplinary approach to be fully successful. The Global Plan of Action promotes such participatory approaches to plant breeding through Activities 2 and 11.

Exploring and promoting the use of under-utilized crops

At the global level, most of the world's major staple crops are well served by crop improvement programmes. There is, though, a need for large scale public sector funding of improvement programmes for other staple crops (e.g. millets, cassava, sweet potato, plantains) where the commercial incentive is much less due to the lack of « effective demand » because the majority of the consumers are poor. Far less resources are therefore invested in these food crops, which are sometimes described as « orphan crops ». These crops however include many food and export crops which are important to most countries of the African Savannah.

Even less research and very few breeding programmes are undertaken for the under-utilized crop species, despite the fact that many are used daily, and make major contributions to healthy and balanced diets. In addition most such crops offer farmers opportunities for agricultural diversification and additional income. There is also a potential for the development and marketing of new crops to contribute to the diversification agricultural systems. This might include the development of energy crops. Many countries have stressed the need for increased breeding and research on such under-utilized species, and for domesticating many wild and semi-domesticated food plants, for instance in Agenda 21. Yet this continues to be an under resourced area of endeavour.

The Global Plan of Action, though its activity 12, now promotes the development and commercial application of under-utilized crops and species. The activity aims to:

- identify under-used species;
- develop sustainable management practices;
- develop post-harvest and marketing methods;
- promote policies for the development and use of under-utilized species.

Additionally, through activity 14 (Developing new markets for local varieties and diversity-rich products) the Plan aims to stimulate demand for diverse products derived from landraces and farmers' varieties, including through the creation of niche markets, labelling and niche variety registration schemes to permit and promote the production and commercialization of local varieties.

Better deployment of genetic diversity to reduce crop vulnerability

Serious concern has been expressed regarding crop genetic vulnerability, and its effects on world food security. Annual losses of food crops due to pests and diseases are phenomenal. However, strategic use of PGRFA and other biological resources can reduce the level of use of pesticides and other costly inputs which are often a burden on the foreign exchange revenues of many developing countries and the incomes of their farmers. For instance, advances in Integrated Pest Management (IPM) are providing many new opportunities for reducing the use of agro-chemicals while maintaining high yields. IPM practices are now extending towards the deployment and rotation of genetically diverse crop varieties which harbour a range of resistance and other agronomic genes. Such strategic deployment of PGRFA could help to minimize selection pressures on pathogens and pests and strengthen existing IPM approaches. This would require a more applied population genetics approach to looking at the issue of pathogen-host co-evolution and how this may inform IPM strategies at the farm level. Another related and promising sustainable agriculture strategy which may benefit from

strategic use of PGRFA is the development of Integrated Plant Nutrition Systems designed to reduce chemical fertilizer dependency and pollution. The promotion of PGRFA intensive techniques such as crop rotation, inter-cropping, cover cropping, and green manures further illustrates that the strategic use of PGRFA can also effectively substitute for expensive inputs. Such approaches are promoted through Activity 11 of the Global Plan of Action.

MULTI-STAKEHOLDER NATIONAL PGRFA PROGRAMMES

The wide range of stakeholders for which such harnessing of PGRFA for sustainable agriculture is important, range from men and women farmers, rural and urban consumers to plant breeders and other researchers. Each of these groups or sectors often operate in their own sphere with little communication or coordination between their PGRFA use activities. There are also often sectoral divisions depending on whether the stakeholder is situated in the public sector (e.g government), the semi-public sector (e.g university) or in the private sector (e.g company).

Box 2: National PGRFA Programmes

Purpose

to contribute to national development, food security, sustainable agriculture and the maintenance of biodiversity through the conservation and utilization of PGRFA

Functions

- develop national policies and strategies
- co-ordinate national activities
- involve all stakeholders and promote linkages
- provide basic building blocks for regional and international collaboration

Activities

- inventorying, exploration, collecting
- conservation *in situ* & *ex situ*
- characterization and evaluation
- genetic enhancement
- crop improvement
- seed/variety production & distribution
- documentation & dissemination of information
- training & capacity building
- research
- fund raising
- development of legislation
- regulation of access and exchange of genetic resources
- public awareness

Partners

- ministries and government departments (i.e. agriculture, forestry, natural resources, environment, science and technology, planning, research and education)
- universities, research and other educational institutions
- NGOs, farmers' organizations, women's groups
- private sector and parastatal companies
- regional and international organizations and networks

Source: Recommendations of Sub-regional Meetings

In addition, such categorizations omit the many resource poor farmers and rural people who operate outside of the monetary economy in the informal sector, yet are extremely dependent on the use of PGRFA for their livelihoods. The activities of any one of these stakeholder groups will be less

effective if each separate project or programme is performed in isolation from those performed by other groups. To have a meaningful impact on the sustainable use of PGRFA it will be necessary to reach a threshold capacity at the national level beyond which significant positive impacts can be realized. This cannot be achieved by any one stakeholder group in isolation and will require strategic multi-stakeholder planning and coordinated action to reach clearly defined national objectives.

The preparatory process leading to the Global Plan of Action highlighted this need for better coordination and strategic planning at the national level, which to be effective would need to involve all the relevant stakeholders. The importance of bringing together the formal and informal sectors, in a complimentary manner which contributes to socio-economic development was stressed in the Plan. At the national level there is a need for countries to establish appropriate policy and institutional frameworks, including mechanisms for coordinated PGRFA planning and action, and a programme strategy. In order to meet the challenges of the future, national capacity will need to be strengthened, especially in training. Regional, crop specific and thematic networks are crucial, particularly for countries that suffer from limited capacity. These constraints led to the promotion in the GPA of national PGRFA programmes, involving multi-stakeholder national PGRFA committees which would provide a structural instrument for strategic national planning and coordination for the conservation and sustainable utilization of all PGRFA. The ultimate purpose of such national PGRFA programmes for the conservation and sustainable utilization of PGRFA, identified during the preparatory process, is to contribute to national development and sustainable agriculture. Within this context, a major role of national programmes should be to identify and address national requirements for PGRFA. The preparatory process also emphasized the importance of providing adequate levels of funding if national programmes are to be sustainable. Finally, the need for a strong legal basis was highlighted, in order that national programmes are supported politically and institutionally at the highest level. Box 2 summarizes the ideal purpose, function and typical activities of national programmes, as identified by countries.

CONCLUSIONS

The utilization of plant genetic resources is key to improving agricultural productivity and sustainability and can contribute to socio-economic development, food security and the alleviation of poverty. An integrated strategy for the conservation and utilization of PGRFA is called for in the Global Plan of Action with the following features:

- productivity - greater use of plant genetic resources will be required to contribute to the productivity increases needed to meet growing populations, both in rural and urban areas. This will require continued access to, and exchange of, the world's plant genetic resources;
- sustainability - there is a need to ensure that such use of plant genetic resources is coupled with the conservation of plant genetic resources, both *in situ* and *ex situ*. This will require, inter alia, approaches to crop improvement which allow the maintenance of higher levels of diversity in production systems, thereby contributing to reduced genetic vulnerability and less loss of genetic resources. Additionally, conservation programmes should be clearly linked with utilization efforts and the sharing of benefits, in order to reinforce the sustainability of such programmes;
- equity - those responsible for conserving and developing plant genetic resources should be able to participate fully in the benefits derived from their use. There is thus a need to develop crop improvement approaches to enable farmers in marginal areas, as well as those in high-productivity areas to benefit fully from the utilization of plant genetic resources.

In the context of the implementation of the Global Plan of Action in Africa, two sub-regional GPA implementation meetings are scheduled to occur in December 1997. One in the West and Central African region and the other in the East and Southern African region. More generally, it is planned that the Global Plan of Action and related follow-up processes will be established by the national governments, and other stakeholders, through a phased programme to be monitored by the members of the inter-governmental FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. The first review dealing with the progress made at national, regional and international levels will be undertaken within four years. The tangible added benefit of the activities in the Global Plan of Action and other initiatives would be the broadening of the genetic base of food production, thereby furthering agricultural sustainability and world food security.

THE DEVELOPMENT OF *SUI-GENERIS* LEGISLATION ON PLANT GENETIC RESOURCES : THE ZIMBABWEAN EXPERIENCE

Mushita T.A.

Community Technology Development Association, Harare, Zimbabwe

BACKGROUND

The initiative to develop rules, regulations, policies and legislation on biodiversity management, intellectual property rights and patents have been approached on a broad based consultation process in Zimbabwe. The process of developing a national *sui-generis* legislation was necessitated by government obligations to signed and ratified International Conventions such as: GATT/TRIPS, Convention on Biological Diversity (CBD), and FAO International Undertaking on Plant Genetic Resources (IUPGR).

Due to the above developments there was need to address PGR management, utilization, including equitable benefit sharing of the results of biotechnology research between and among the different stakeholders. Representatives from the formal, informal and traditional sectors of Zimbabwe deliberated, identified and prioritized specific areas where equitable forms of protection regimes will be required to protect, innovations, knowledge, technologies, intellectual integrity and rights over these by both the formal and informal sectors. The representatives of the above sectors prioritized specific areas where they felt they would require intellectual protection which facilitates ownership rights over biomaterials to different stakeholders and benefit sharing.

The Biotechnology Research Institute (BRI), of the Scientific and Industrial Research and Development Centre (SIRDC) and the Community Technology Development Association (Commutech) co-hosted the national consultative workshop on the need to develop a model intellectual property rights framework.

The objectives of the national consultative process were to :

- i) Commission a national study to review current and existing legislation on IPR and patents in Zimbabwe, with special emphasis on traditional and or Indigenous Knowledge Systems as they are affected by existing legislation.
- ii) Assess and review the legal implications and interpretations of IPR and patents in terms of what is patentable and how this will relate to Farmers Rights.
- iii) Suggest policy reforms which will be used in developing a model *sui-generis* legislation which is in harmony with the signed and ratified conventions and in conformity with the socio-economic and cultural realities of the country.

THE CONSULTATIVE WORKSHOP

The consultative workshop brought together 115 people from various sectorial interest areas of Zimbabwe to review the state of the art of existing IPR and patent protective mechanisms and legislative regimes for Zimbabwe. The workshop also assessed the alternatives to current IPR-Patents and suggested more appropriate *sui-generis* legislation which would protect, among other issues, traditional/indigenous knowledge systems and technologies which are in keeping with the socio-economic realities of the country.

The workshop also assessed the implications of the international trade agreements such as GATT/TRIPS under WTO, CBD, IUPGR, UPOV and others which the country have signed and in some cases ratified. The national consultative workshop addressed and organized the process through a thematic approach :

Session I: This session addressed aspects related to what is patentable under current legislation. This session had presentations from the Zimbabwe Patent Office and African Region Intellectual Patents Office (ARIPO).

Session II: The general theme for the session was sectorial interests in IPR and Patents. The main concern was to address the major interests of the private sector and those of the NGOs. The aspects addressed focussed on:

- Medicinal plants and their knowledge systems as traditional healers and their related protection regimes required.
- Gender dimension on IPR and patents and stressed that in the development of any IPR-Patent protective regimes, the gender issues should be considered. In fact, the majority of those who hold traditional knowledge and their applications are women.
- Indigenous knowledge, innovations, technologies, and their relationships with IPR and patents were viewed in the context of their immense contribution in many facts of the economy though they lacked recognition, protection, including scientific and financial support.
- Biotechnology assessment and the impact of IPR and Patents with special emphasis on the rights of farmers including related implications.
- NGOs perspectives on IPR and Patents which focussed on community rights and ownership of natural resources, intellectual integrity of their contributions and equitable benefit sharing arising from the exploitation of the biomaterials which includes the knowledge of communities.

Session III: The session was devoted to IPR-Patents and Farmers Rights. The deliberations were aimed at examining the concerns of Farmers on IPR-Patents and protective regimes. The rights of farmers arising from their past, present and future contributions to maintenance, evolution and continued utilization of PGR were highlighted. It was emphasized that farmers are the primary consumers of scientific products.

Session IV: The main focus of this session was policy reforms on IPR and Patents. This issue was addressed by number of government policy makers, from Ministries of Agriculture, Industry and Commerce, Health and Child Welfare, Environment and Tourism and Department of National Parks and Wildlife Management. The above policy makers presentations were in the context of national obligations to signed and to ratified international conventions.

RECOMMENDATIONS

Each of the above sessions came up with specific recommendations which will form the basis for the next step which intends to define:

What is patentable in the country?

- Should this include verifiable indigenous knowledge which has a known utility and is repeatable?
- Should this include products of materials and or combinations of extracts from these materials, which have a demonstrable effect provided they have shown to have curative and immune response properties?
- Indigenous knowledge about herbs, demonstrably used for curative purposes, this has special reference to traditional medicines and the knowledge about them, possessed by traditional healers.
- Genes and gene products, oligonucleotides, which exhibit beneficial traits and should this include whole genomes of plants and animals?

Policy Framework on IPR and Patents

- It was agreed that the current IPR and Patent international legislative regimes do not offer adequate protection in areas of genetic resources and biodiversity since they were never designed to protect life-form and hence they are not suitable.
- It was agreed that special attention should be paid to issues on access to genetic resources, conservation of biological diversity and transfer of technology.
- It was also agreed that current legislation on IPR and Patents does not cover issues on community intellectual property rights, indigenous knowledge, innovations and technologies. The whole IPR and Patent system is developed to serve the interests of the developed countries, at the total neglect of the interests and development of the genetic rich developing countries. As a result policy reforms should be directed towards:

- development of new and alternative IPR-Patent legislation that is *sui-generis*. Such a legislation should protect local intellect.
- community intellectual property rights which are legislatively protectable.
- promoting consultation before the signing and ratification of any convention at national level.
- public education to raise and create awareness on IPR and Patents.

Benefit Sharing

On this issue, it was indicated that this should include all stakeholders involved in the conservation, utilization locally, research institutions on biotechnologists. This should also assume the North/South dimension and the need to develop a novel idea into a legal framework. This should include technical assistance from the Zimbabwe Patent Office, Aripo, experienced scientists, universities and lawyers.

WAY FORWARD

The next step involves defining what is patentable and addressing the potential implications, interface between and among the different stakeholders and the rights of all the interested parties. The second aspect is to propose specific protection regimes which facilitates rights and access regimes to the various biomaterials by communities, researchers, biotechnologists and universities. The above proposals will be tabled for debate by all concerned resulting with recommendations which will form the basis for formulating a model national *sui-generis* legislation for Zimbabwe acceptable to all stakeholders.

LES ENJEUX DES NEGOCIATIONS EN COURS SUR LES RESSOURCES PHYTOGENETIQUES

Chauvet M., Lefort M. et Sontot A.

BRG, Paris, France

RESUME

Les négociations sur les échanges internationaux de ressources génétiques sont complexes, car elles touchent de nombreux domaines (droits de propriété intellectuelle, coopération scientifique, transferts de technologies, protection du patrimoine naturel) et se déroulent dans des instances variées (Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique, Commission des ressources génétiques de la FAO, Organisation mondiale du commerce).

Dans un premier temps, les auteurs rappellent les spécificités des enjeux liés aux ressources génétiques d'intérêt agricole et alimentaire et l'évolution du contexte international de négociation des quinze dernières années.

Dans un deuxième temps, ils présentent les différentes options en cours de négociation dans le cadre de la révision de l'Engagement international sur les ressources phytogénétiques et leurs conséquences pratiques.

LE CADRE DES NEGOCIATIONS

Bien que l'Engagement international de la FAO ait été négocié dès les années 1980, les négociations sur les ressources génétiques se sont retrouvées incluses dans un processus bien plus vaste depuis la Conférence des Nations unies pour l'environnement et le développement, surnommée le Sommet de la Terre, qui s'est tenue en juin 1992 à Rio de Janeiro. Cette Conférence a adopté deux conventions, sur les changements climatiques et sur la diversité biologique, une Déclaration sur les forêts et un Programme Action 21 (ou Agenda 21). Plus tard est venue s'y ajouter la Convention sur la désertification.

Ce processus implique l'ensemble du système des Nations Unies, et en particulier la FAO, l'UNESCO, le PNUE et le PNUD. Pour assurer la mise en œuvre et le suivi du dispositif, une Commission du Développement Durable (CDD ou CSD) a été établie. C'est elle qui héberge un Panel intergouvernemental sur les forêts, chargé de négocier une convention sur les forêts qui n'avait pu aboutir à temps pour Rio.

Par ailleurs, l'Organisation mondiale du commerce (OMC ou WTO) a créé un Comité sur l'environnement et le commerce qui a compétence sur les effets de la libéralisation des échanges sur l'environnement. C'est enfin l'OMC qui doit mettre en œuvre le volet des « aspects des droits de propriété intellectuelle liés au commerce » (ADPIC ou TRIPS).

LES INSTRUMENTS CONCERNANT DIRECTEMENT LES RESSOURCES GENETIQUES

La Convention sur la diversité biologique (CDB)

Négociée à l'initiative du PNUE, cette convention a été signée par 153 pays à Rio en 1992, à l'exception notable des Etats-Unis. Elle est entrée en vigueur en décembre 1993, ce qui est extrêmement rapide pour une convention, et est actuellement (au 25 octobre 1996) ratifiée par 162 pays. Les Etats-Unis l'ont finalement signée, mais ne semblent pas prêts de la ratifier.

Son secrétariat est situé à Montréal et géré par le PNUE. Son organe directeur, la Conférence des Parties (CdP), s'est d'abord réuni tous les ans (Nassau, 1994 ; Jakarta, 1995 ; Buenos Aires, 1996), et la quatrième CdP se réunira à Bratislava en 1998, soit un an et demi après la dernière réunion. La CdP est assistée d'un Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques (OSASTT ou SBSTTA) qui se réunit lui aussi tous les ans. Le nom compliqué de cet

organe, et l'usage du mot « subsidiaire » pour ce qui a vocation à être un conseil scientifique, illustre bien la relation conflictuelle entre scientifiques et politiques qui est vécue au sein de cette convention. De plus, le SBSTTA est « à composition non limitée », ce qui veut dire qu'il regroupe plusieurs centaines de personnes mandatées par les Etats. Il a en conséquence beaucoup de difficultés à fonctionner comme un conseil scientifique.

Les trois objectifs fondamentaux de la CDB sont la conservation de la biodiversité, son utilisation durable et le partage des avantages (*benefit sharing*). Le domaine qu'elle couvre est extraordinairement vaste, puisqu'il s'agit de tous les êtres vivants sauf l'homme, et de tous les écosystèmes. Dans son programme de travail, on peut mentionner la négociation d'un protocole sur la sécurité des biotechnologies (1996-97), la biodiversité marine et côtière (depuis 1995) et l'agrobiodiversité (depuis 1996). Un « Mécanisme de centre d'échanges » d'informations est en cours de mise en place à l'échelle internationale, par le biais d'un réseau de sites Internet.

L'Engagement international

L'Engagement international sur les ressources phytogénétiques fait partie du Système mondial de la FAO détaillé plus loin. Il a été adopté en 1983 avec des réserves qui ont été levées en 1989 et 1991 par trois résolutions additionnelles. Il a alors été signé par 110 pays, mais pas par le Brésil, le Canada, les Etats-Unis, le Japon et la Malaisie. Il s'est trouvé remis en cause lors de l'entrée en vigueur de la CDB, qui est juridiquement contraignante, alors que l'Engagement ne l'est pas. L'Engagement contenait des dispositions contradictoires avec la CDB ; ainsi, les ressources génétiques étaient considérées comme le patrimoine commun de l'humanité, alors que la CDB les place sous la souveraineté des Etats. L'Engagement a donc été considéré obsolète, et décision a été prise de le renégocier pour le mettre en harmonie avec la CDB. Par ailleurs, la FAO a reçu un mandat particulier de la Conférence de Nairobi de 1992, au travers de la Résolution 3 :

« La Conférence,...

2. *Demande instamment que l'on étudie des moyens permettant de développer la complémentarité et la coopération entre la Convention sur la diversité biologique et le Système mondial de conservation et d'utilisation durable des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture viable ;*

3. *Reconnaît en outre la nécessité de trouver des solutions aux questions les plus importantes concernant les ressources phytogénétiques dans le cadre du Système mondial de conservation et d'utilisation durable des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture viable, et en particulier aux questions :*

- *de l'accès aux collections ex situ qui n'ont pas été constituées conformément à la présente Convention ;*

- *des droits des agriculteurs. »*

La négociation se poursuit actuellement dans le cadre de la Commission des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture (CRGAA) de la FAO, lors de réunions ordinaires tous les deux ans, et de réunions extraordinaires. Les principaux points en discussion sont présentés ci-dessous. Il restera ensuite à déterminer le statut final de l'Engagement, qui pourrait prendre la forme d'un protocole de la CDB, d'un instrument autonome géré par la FAO, ou de toute autre solution intermédiaire. De nombreux pays considèrent en tout cas que la FAO devra rester impliquée dans ce domaine d'intérêt agricole majeur.

La FAO et le Système mondial

La renégociation de l'Engagement n'est pas la seule tâche de la CRGAA. Tout d'abord, cette commission a vu son domaine de compétence élargi. Sous le nom de Commission des ressources phytogénétiques, elle ne couvrait auparavant que le domaine végétal. Dorénavant, elle couvre l'ensemble des ressources génétiques utiles pour l'alimentation et l'agriculture, qu'elles soient végétales, animales ou microbiennes. Dans un premier temps, l'extension portera sur les animaux domestiques, pour lesquels la constitution d'un groupe de travail a été décidé. La FAO élabore également un programme d'action sur les animaux domestiques, qui inclut entre autres un système d'information, DAD-IS.

Dans le domaine végétal, on dispose maintenant d'un Plan d'action mondial (PAM), adopté à la Conférence technique internationale de Leipzig en juin 1996. Ce PAM constitue un cadre de référence pour les actions nationales, régionales et internationales, et met l'accent sur les programmes nationaux et les réseaux régionaux et internationaux. Il a été élaboré en plusieurs étapes, avec en particulier des conférences régionales (Dakar pour l'Afrique de l'Ouest, Tunis pour le sud de la Méditerranée, Nitra pour l'Europe) qui ont permis d'enclencher une dynamique qu'il nous appartient maintenant d'entretenir au travers des programmes nationaux et de la coopération internationale tant multilatérale que bilatérale.

Il existe de surcroît un Code de conduite pour la collecte et le transfert de matériel phytogénétique, adopté en 1993, et un Système mondial d'information et d'alerte rapide, dont l'évaluation et la structuration sont en cours. Mais l'un des volets du système qui a suscité le plus d'intérêt est peut-être le Réseau de banques de gènes sous les auspices de la FAO. Initialement, la FAO avait proposé plusieurs types de contrats par lesquels les banques de gènes accepteraient un droit de regard de la FAO et de la CRGAA pour favoriser l'accès aux collections. Mis à part quelques banques de gènes nationales ou régionales (comme la Banque de gènes nordique), ce dispositif a surtout permis d'avancer dans la question du statut des collections de base des centres internationaux de recherche agricole (CIRA) relevant du GCRAI. En effet, ceux-ci ont signé un accord avec la FAO par lequel ils reconnaissent qu'ils ne sont pas propriétaires de leurs collections de base, mais leurs dépositaires ou administrateurs fiduciaires (*trustees* en droit anglo-saxon). Cette question est bien sûr liée au devenir de l'Engagement international, qui devrait constituer le cadre juridique du réseau international des banques de gènes, la CRGAA étant chargée de suivre le fonctionnement du réseau.

QUELQUES ENJEUX DE LA NEGOCIATION

Sauvegarder les bases de l'innovation pour l'alimentation et l'agriculture

Le cadre d'échange des ressources génétiques mis en place par la CDB n'est pas adapté aux ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Le matériel de base utilisé en sélection est en effet essentiellement constitué d'espèces déjà cultivées, pour la plupart largement répandues dans le monde et assez bien connues, dont l'amélioration résulte d'un nombre important de croisements où l'apport d'une seule plante, même s'il s'agit d'un parent sauvage d'une espèce cultivée, est rarement décisif, et où les bénéfices obtenus sont assez faibles par rapport à l'effort de recherche consenti sur plusieurs générations. L'amélioration végétale issue de la biotechnologie, mais aussi des voies traditionnelles de sélection, résulte ainsi de l'adaptation continue de matériel végétal et d'interactions entre de nombreux acteurs, publics et privés, du Nord et du Sud.

Le premier enjeu de cette négociation porte donc sur la reconnaissance de cette spécificité des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture par rapport aux autres ressources génétiques, et sur la nécessité de mettre en place un régime d'échange de ces ressources permettant d'utiliser sans entraves la plus grande diversité génétique possible.

Mettre en place un cadre international efficace pour la conservation des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture

Le Plan d'action mondial adopté à la Conférence technique internationale de Leipzig a enclenché une dynamique visant à rationaliser à l'échelle mondiale les efforts de conservation des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Il est essentiel que les négociations en cours dépassent les seuls aspects d'accès aux ressources génétiques et de partage des avantages résultant de leur utilisation, mais intègrent aussi la dimension « conservation ».

La circulation sans restriction des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture est en effet le corollaire indispensable à l'effort de rationalisation de la conservation entrepris, faute de quoi chacun devrait acquérir et conserver la diversité génétique dont il pourrait avoir besoin pour son travail de sélection, dupliquant ainsi les efforts de conservation d'un pays à l'autre, et débouchant sur de fantastiques redondances au niveau mondial. Par ailleurs, la mise en œuvre de ces principes repose également sur l'amélioration de la capacité des Etats, particulièrement des pays en développement, à conserver et valoriser leurs ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. C'est en

ce sens qu'une approche globale des négociations en cours, intégrant accès aux ressources génétiques et partage des avantages résultant de leur utilisation, peut contribuer à jeter les bases de la mise en œuvre du Plan d'action mondial.

Améliorer le lien entre conservation et utilisation

Une part essentielle de la diversité génétique utilisable pour l'alimentation et l'agriculture est détenue dans les collections de travail des sélectionneurs, qu'il soient publics ou privés. Les négociations en cours devront impérativement déboucher sur un dispositif permettant à ces institutions de participer à la conservation et à l'échange des ressources génétiques tels que définis par le futur Engagement international révisé. Ce dispositif devra donc prendre en compte les contraintes spécifiques des sélectionneurs, en particulier en ce qui concerne la valorisation des résultats de leur recherche (respect des droits de propriété intellectuelle, des conditions de confidentialité...). A ce titre, les négociations en cours pourront contribuer à la réflexion des pays devant se doter de droits de propriété intellectuelle dans le domaine de la création variétale, en application des accords ADPIC. S'il n'est pas question de négocier dans le cadre de la FAO ou de la CDB des systèmes de droits de propriété intellectuelle, traités dans d'autres enceintes, les débats pourront utilement mettre en évidence le besoin d'une rémunération de l'innovation en sélection végétale qui soit compatible avec un système multilatéral de conservation et d'échange des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture.

PRINCIPAUX POINTS DE DISCUSSION

Les droits des agriculteurs

Ces droits ont été créés par deux résolutions de 1989 annexées à l'Engagement. Pour la Résolution 5/89, « Par « droits des agriculteurs », on entend les droits que confèrent aux agriculteurs et particulièrement à ceux des centres d'origine et de diversité des ressources phylogénétiques, leurs contributions passées, présentes et futures à la conservation, l'amélioration et la disponibilité de ces ressources. » La Résolution 4/89 ajoute que cette « énorme contribution »... « justifie le concept de droits des agriculteurs », et précise que « les Etats adhérents estiment que la meilleure façon d'appliquer le concept de droits des agriculteurs est d'assurer la conservation, la gestion et l'utilisation des ressources phylogénétiques au profit des générations présentes et à venir d'agriculteurs. »

On a là la motivation du concept, qui a donc été accepté politiquement. Reste à préciser qui détient ces droits et en quoi ils consistent. Selon la Résolution 5/89, ils « sont dévolus à la communauté internationale », étant sous-entendu que la FAO pourrait être l'expression de cette communauté internationale. Par la suite, certains ont avancé que les Etats nationaux étaient les représentants de leurs paysans. D'autres ont proposé que ce soient des communautés paysannes, ou bien des paysans individuels.

Quant à la nature de tels droits, les avis divergent, et des options de plus en plus nombreuses ont été présentées. Comme le concept de droits des agriculteurs a été présenté à l'origine comme contrepartie du droit d'obtention végétale, certains cherchent à le définir en tant que droit de propriété intellectuelle, comme le sont les brevets, les copyrights, les marques commerciales, les appellations d'origine, les labels, ou encore des droits *sui generis* à préciser, tels qu'ils sont mentionnés dans les accords ADPIC.

D'autres plaident pour une conception plus large des droits des agriculteurs, qui inclut le droit à la terre, le droit à l'éducation, à la formation et à la vulgarisation agricole, le droit à accéder au crédit et au marché, le droit à l'organisation économique (coopératives, groupements de producteurs) ou syndicale, et finalement les droits de l'Homme. La mise en œuvre de ces droits devra alors s'inscrire dans le cadre législatif ou réglementaire national des pays signataires.

Derrière ces revendications, on trouve le souci de revaloriser le statut des paysans qui dans bien des pays se sont retrouvés marginalisés, et demandent à être respectés et reconnus comme partenaires dans la société.

Le domaine couvert

Une première source de confusion vient de la définition très large que la CDB donne des ressources génétiques. Pour la CDB (article 2. Emploi des termes), il s'agit du « matériel génétique ayant une valeur effective ou potentielle », le matériel génétique étant « le matériel d'origine végétale, animale, microbienne ou autre, contenant des unités fonctionnelles d'hérédité. » Pour l'Engagement, il s'agit avant tout des plantes cultivées et de leurs parents sauvages ou adventices. Mais au travers des exemples donnés dans la discussion, on se rend compte que trop souvent, on applique aux ressources génétiques agricoles des modèles tirés de la recherche de molécules d'intérêt médicinal ou industriel.

Les discussions sur le domaine couvert sont complexes, car elles peuvent combiner quatre approches. La première consiste à raisonner sur la base d'une liste d'espèces. Certains retiennent toutes les espèces utiles pour l'alimentation et l'agriculture, préférant maintenir un champ très large, quitte à différencier des espèces au niveau des modalités d'accès. D'autres parlent des espèces contribuant à la sécurité alimentaire mondiale ou régionale, auquel cas on aurait une liste positive réduite. D'autres enfin considèrent toutes les espèces à l'exclusion de certaines espèces de rente, auquel cas on aurait une liste négative.

Une deuxième approche consiste à distinguer les collections d'après la date de leur constitution. On pourrait ainsi restreindre l'Engagement aux collections rassemblées avant l'entrée en vigueur de la CDB, et qui ne sont donc pas régies par elle puisque les conventions ne sont pas rétroactives. On peut aussi adopter des dispositions différentes suivant que les collectes ont été effectuées avant ou après l'entrée en vigueur de la CDB, ou avant ou après celle de l'Engagement révisé.

Une troisième approche distingue le mode de conservation des ressources, suivant qu'elles sont en collections *ex situ* ou en réseaux de conservation *in situ*.

Enfin, on peut engager un processus de désignation des ressources qui seront mises en collections de base ou en collections nationales, régionales ou internationales, étant entendu que les sélectionneurs dans le cadre de leur activité ont par ailleurs des collections de travail, et du matériel qui est le résultat de leur travail et qu'ils sont libres de garder pour leur usage privé.

Les catégories de matériel génétique

Si l'on veut rendre opérationnel un réseau international de ressources génétiques, on ne peut se contenter de postulats de principe. Tout le matériel génétique n'offre pas le même intérêt en tant que ressource, et par ailleurs, les conditions d'accès peuvent différer suivant les types de ressources et les droits de propriété intellectuelle qui peuvent leur être attachés.

A titre d'exemple, les réseaux français ont décidé de s'appuyer sur des critères de désignation précis pour définir des collections nationales accessibles aussi librement que le permettra le réseau international. Ces collections, de taille raisonnable, comprennent du matériel diversifié génétiquement et libre de tout droit de propriété intellectuelle. Les catégories de matériel considérées comme prioritaires sont les cultivars, les populations et variétés de pays nationales, les géniteurs réputés pour leur apport à la sélection, le matériel original issu de prospections sur le territoire national (y compris les parents sauvages), le matériel connu pour la présence de gènes identifiés, et enfin le matériel peu connu, mais reconnu comme ressource génétique et dont la fourniture ou la collecte est difficile aujourd'hui (ressource disparue, agroécosystème menacé...).

Le partage des avantages

Cette question est souvent assimilée à un partage de bénéfices financiers. Dans ce cas, plusieurs options sont théoriquement possibles, allant du paiement forfaitaire par échantillon fourni, à la négociation au cas par cas de redevances en fonction de la contribution d'une ressource à un cultivar commercial. Mais il est probable que les coûts de transaction d'un tel système soient très élevés, au point de dissuader les utilisateurs. Un programme de sélection met en effet en œuvre un grand nombre de ressources génétiques, et un cultivar combine habituellement les caractéristiques de nombreux géniteurs.

Si l'on considère le partage des avantages d'une façon plus large, ceux-ci sont une fonction importante des réseaux internationaux. Chaque participant a alors accès à l'information et aux résultats de recherche obtenus par les autres. Dans le cadre des réseaux, des besoins en formation et en transferts de technologies peuvent être identifiés, et des montages institutionnels et financiers trouvés pour y répondre.

Quelles que soient les solutions retenues, il faudra s'assurer qu'elles contribuent bien à accroître les dits avantages, et se rappeler que les premiers avantages d'un réseau sont d'une part l'accès libre aux ressources des autres partenaires, et d'autre part la diminution des coûts de la conservation.

Les participants au réseau

Les Parties aux accords internationaux sont les Etats et éventuellement des organisations intergouvernementales. Mais les Etats ne peuvent s'engager pour leurs entreprises privées, ni même dans de nombreux pays pour leurs organismes de recherche. Par ailleurs, d'autres acteurs comme des ONG pourraient souhaiter adhérer au réseau international. Il conviendra donc de différencier les engagements politiques qui relèvent des Etats et ceux plus opérationnels qui relèvent de tous les acteurs de la conservation et de la valorisation des ressources génétiques. Ces acteurs ne pourront s'engager que si le statut de leurs collections est clarifié en droit national. La réflexion à ce sujet est à peine amorcée, mais elle est essentielle si l'on souhaite une implication de leur part.

EN GUISE DE CONCLUSION

Les négociations actuelles sont marquées par une grande complexité, autant technique qu'institutionnelle. Cela impose pour chacun de nos pays un effort particulier d'organisation. Habituellement, les questions de biodiversité sont traitées par les ministères chargés de l'environnement, et celles des RPGAA par les ministères chargés de l'agriculture ou de la recherche, sans parler des questions liées au commerce international et aux droits de propriété intellectuelle. Seuls des mécanismes renforcés d'information et de concertation interministérielle permettront de faire en sorte que la position d'un pays soit la même dans les différentes instances.

La nécessité de la concertation est tout aussi importante entre les organismes de recherche, ceux chargés de la filière semences, du développement agricole ou de la protection de la nature. Elle seule permet que les intérêts légitimes des divers acteurs soient pris en compte dans la définition de la politique nationale.

Pour influencer sur le débat international et faire valoir ses intérêts, chaque pays doit se doter de mécanismes de concertation efficaces, et s'appuyer sur des équipes qui réunissent les diverses compétences requises. De tels mécanismes doivent être assurés d'un minimum de permanence, car les processus de négociations s'étendent sur de longues années. Au-delà des mécanismes nationaux, les concertations régionales s'avèrent aussi très utiles pour mettre en avant les spécificités des régions et les défendre collectivement face aux autres régions du monde.

C'est dans cet esprit qu'il faut envisager de bâtir ensemble un dispositif qui confortera la conservation des ressources phytogénétiques, et assurera leur meilleure utilisation au service de l'agriculture durable dans tous les pays.

BIBLIOGRAPHIE

- Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1996. Plan d'action mondial pour la conservation et l'utilisation durable des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, et la Déclaration de Leipzig adoptés par la Conférence technique internationale sur les ressources phytogénétiques, Leipzig, Allemagne, 17-23 juin 1996. Rome, 67 p.
- Convention sur la diversité biologique. Texte et annexes. Montréal, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, 1996. 34 p.



IMPRESSION, BROCHAGE
IMPRIMERIE CHIRAT
42540 ST-JUST-LA-PENDUE
DÉCEMBRE 1997
DÉPÔT LÉGAL 1997 N° 4677