

Diversité des sorghos : application à la gestion des ressources génétiques et à la sélection

La collecte, la conservation et l'étude des variétés cultivées traditionnelles de sorgho et des formes sauvages apparentées revêtent aujourd'hui une grande importance.

Il est nécessaire de maintenir la diversité des plantes cultivées. Les variétés locales et leurs parents sauvages constituent un réservoir de gènes disponibles pour l'amélioration des plantes.

Bien que les variétés traditionnelles de sorgho soient toujours largement cultivées en Afrique et en Asie, l'avancée de la désertification provoque la disparition de certains cultivars africains. La conservation des ressources génétiques de cette plante est devenue indispensable. Elle est assurée par l'ICRISAT (*International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*) dont la collection regroupe actuellement plus de 30 000 accessions.

La taille d'une telle collection rend délicats l'entretien, l'évaluation et l'utilisation des ressources génétiques. De plus, il est difficile de prévoir aujourd'hui

les caractères qui intéresseront plus tard les sélectionneurs.

Pour ces raisons, au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), l'analyse de la diversité génétique des sorghos a été entreprise à l'aide de caractères morphologiques et de marqueurs biochimiques et moléculaires.

La taxonomie des sorghos

Le genre *Sorghum* appartient à la famille des poacées (ex-graminées). La grande diversité morphologique de ce genre a conduit les botanistes à multiplier les divisions de la classification — 712 taxons de sorghos cultivés selon SNOWDEN (1936). Une classification simplifiée, préconisée par l'*International*

M. DEU, P. HAMON
CIRAD-CA, BP 5035,
34032 Montpellier
Cedex 1, France

Plant Genetic Resources Institut (IPGRI) est utilisée de nos jours. Elle a été établie par DE WET (1978), puis légèrement modifiée par ACHEAMPONG *et al.* (1984). Elle divise le genre *Sorghum* en cinq sections, dont seule la section *Sorghum* est présentée ici (figure 1).

La section *Sorghum* regroupe plusieurs espèces dont deux sont diploïdes : *S. propinquum* (pérenne) et *S. bicolor* (annuelle). Ces deux espèces sont entièrement interfertiles mais présentent un total isolement géographique.

L'espèce *S. bicolor* est elle-même scindée en trois sous-espèces : ssp. *bicolor* (sorghos cultivés), ssp. *arundinaceum* (sorghos sauvages), ssp. *drumondii* (sorghos adventices, issus d'hybridation entre formes sauvages et cultivées).

Les sorghos sauvages de l'espèce *S. bicolor*

Les sorghos sauvages de la sous-espèce *arundinaceum* présentent une grande diversité morphologique et écologique. Ils ont été divisés en quatre races¹, ou écotypes, d'après la structure de leur inflorescence et leur origine géographique (DE WET, 1978). Ce sont les races *aethiopicum*, *arundinaceum*, *verticilliflorum* et *virgatum* dont la distribution est strictement africaine (figure 2a).

La race *aethiopicum* est largement distribuée dans les zones les plus sèches et chaudes de la savane africaine, de la Mauritanie au Soudan. Ses inflorescences sont petites et peu ouvertes.

La race *arundinaceum* se trouve essentiellement en Afrique de l'Ouest dans les forêts tropicales humides mais des populations ont été rencontrées jusqu'en Afrique du Sud. Les inflorescences, larges, sont pendantes à maturité.

La race *verticilliflorum* est la plus répandue ; elle est commune dans la savane africaine. Des inflorescences larges et ouvertes la caractérisent.

La race *virgatum* est présente dans la partie nord-est de l'Afrique, le long des canaux d'irrigation et des cours d'eau (vallée du Nil

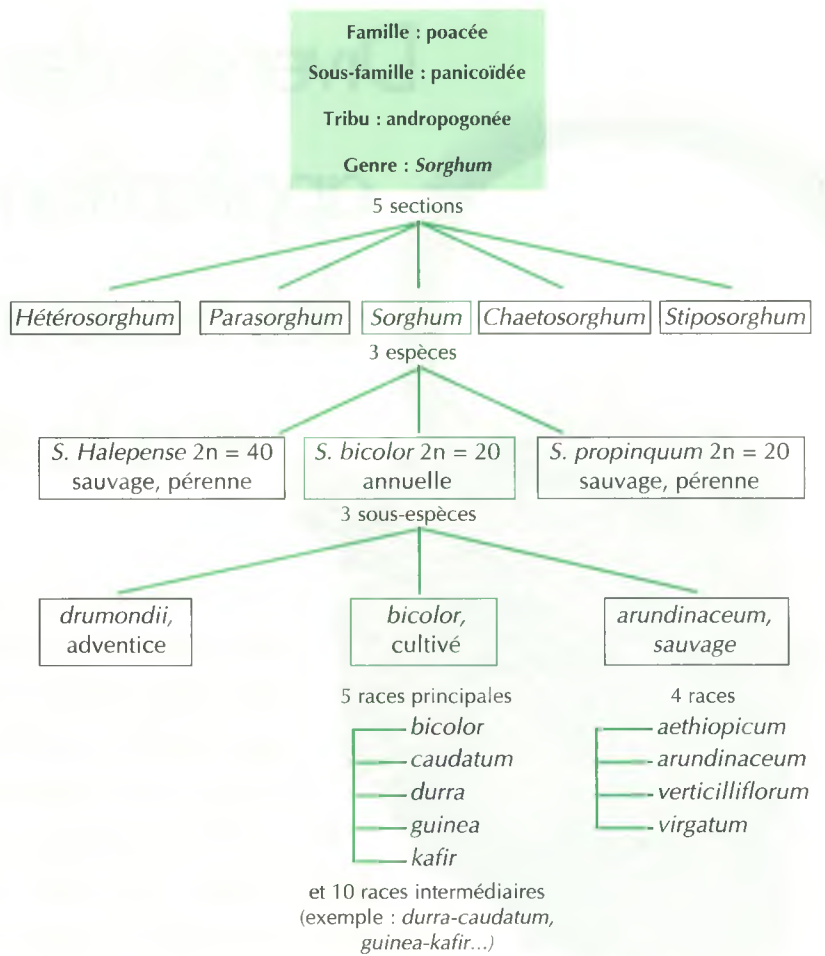


Figure 1. La taxonomie du genre *Sorghum*.

en particulier). Elle est très proche de la race *verticilliflorum* dont elle se distingue par des ramifications d'inflorescences plus érigées.

Toutes ces races peuvent se croiser aisément entre elles ainsi qu'avec les sorghos cultivés ; des hybrides fertiles sont fréquemment rencontrés dans les zones de contact.

Les sorghos cultivés de l'espèce *S. bicolor*

Les sorghos cultivés sont monoïques et préférentiellement autogames. Ils présentent eux aussi une grande diversité phénotypique. Une classification simplifiée a été proposée par HARLAN et DE WET (1972) à partir de critères morphologiques (structure de l'épillet, forme de la panicule, les caractères de l'épillet étant considérés comme les plus stables donc peu soumis aux effets de l'environnement). Elle conduit à la définition de cinq races principales et dix intermédiaires

1. Une race est définie comme un ensemble de variétés présentant des caractères morphologiques et des adaptations écologiques communs. Elle constitue une unité biologique et génétique (HARLAN et DE WET, 1971).

entre les précédentes prises deux à deux. Ces races ont des aires de répartition se chevauchant, bien qu'une race puisse être plus fréquente dans une région (figure 2b).

La race *bicolor* est cultivée dans toute l'Afrique et très répandue en Asie. Elle est la plus primitive. Les grains sont petits, allongés et enveloppés dans des glumes adhérentes ; les panicules sont lâches. Ces caractères sont proches de ceux rencontrés chez les sorghos sauvages.

La race *caudatum* est essentiellement rencontrée en Afrique du Centre et de l'Est. Elle est caractérisée par un grain dissymétrique (en forme de carapace de tortue). La forme de la panicule est très variable.

La race *durra* est la race principale en Inde ; elle se retrouve en Afrique de l'Est. Elle est bien adaptée à la sécheresse. Les grains sont gros et globuleux, les panicules compactes

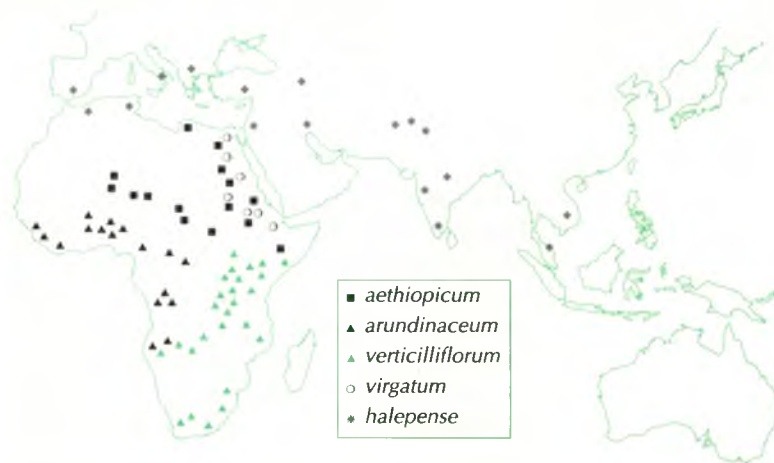


Figure 2a. Distribution des principaux types spontanés de la section *Sorghum*.

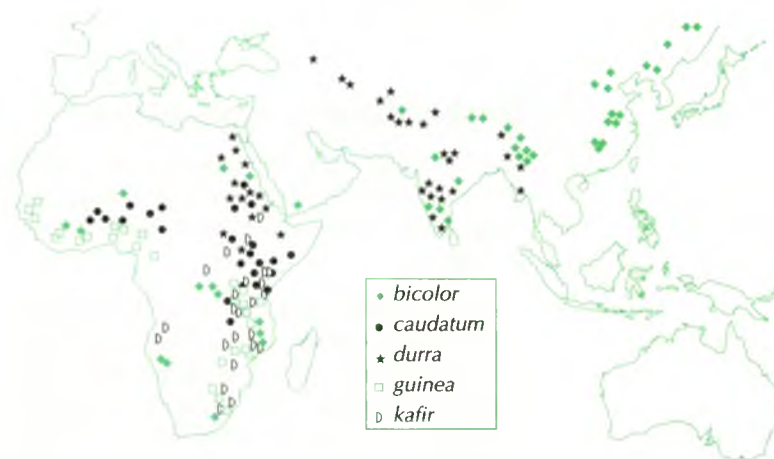


Figure 2b. Distribution des 5 races principales de sorghos cultivés.

Importance économique et alimentaire des sorghos cultivés

La production en grains ainsi que les surfaces consacrées à sa culture placent le sorgho au 5^e rang mondial des céréales, loin derrière les trois plus importantes (blé, riz et maïs). En Afrique, il occupe la seconde place, avec une production représentant la moitié de celle du maïs (CHANTE-REAU et NICOU, 1991). Sur le plan mondial, le rendement moyen à l'hectare est de 1,3 tonne mais ce chiffre couvre des disparités importantes (3,5 tonnes par hectare aux Etats-Unis à 0,7 en Afrique).

En région tempérée, le sorgho est actuellement réservé à l'alimentation animale, les productions de sirop, de sucre, d'alcool et d'amidon n'étant plus compétitives. En zone tropicale semi-aride, la plante entière est utilisée par des millions d'hommes. Les grains, riches en protéines, sont transformés pour l'alimentation humaine ; les tiges servent de combustible et de matériau de construction ; les résidus de récolte (tiges, feuilles) fournissent un complément de fourrage pour le bétail.

sont souvent portées par un pédoncule crossé.

La race *kafir* est présente surtout en Afrique du Sud, où l'agriculture a été introduite plus tardivement. Elle est probablement d'origine récente. Les grains sont symétriques, les panicules denses sont en forme cylindrique.

La race *guinea* est typique de l'Afrique de l'Ouest mais elle est aussi répandue en Afrique du Sud. Ces sorghos sont adaptés aux zones humides. Les grains sont symétriques et présentent une rotation entre les glumes à maturité ; les panicules sont lâches. Les sorghos de cette race présentent une grande variabilité morphologique ; ils ont fait l'objet de nombreuses classifications fondées sur la taille des grains et le rapport entre la taille des grains et celle des glumes. Trois ou quatre sous-races, dont la sous-race *margaritifera* (grains petits et vitreux), sont actuellement distingués.

L'organisation génétique des sorghos cultivés

Trois types de classification ont permis de mieux comprendre cette organisation génétique.

La classification morphologique

L'étude quantitative de 135 variétés cultivées à l'aide de 26 caractères morpho-physiolo-

Utilisations et qualités des cinq races de sorghos cultivés

Les usages culinaires des différentes races de sorghos apparaissent fortement liés aux habitudes alimentaires des consommateurs et aux adaptations particulières des variétés locales.

La race *bicolor* regroupe de nombreux types de sorghos (sorghos à balai, sorghos à tige sucrée, sorghos pour le fourrage). Les sorghos à grains servent rarement de nourriture humaine mais sont réservés à la fabrication de bière.

Les *caudatum*, *durra* et *kafir* peuvent fournir des farines de bonne qualité mais celle-ci est variable en fonction des cultivars. En général, les sorghos à grains blancs sont les plus appréciés des consommateurs ; les variétés à grains pigmentés servent à la production de bière (cas de certains *kafir* et *caudatum*).

Les *guinea*, particulièrement bien adaptés aux zones humides, ont des grains de bonne qualité et résistants aux moisissures et aux maladies locales. Les *guinea margaritifera*, présentant une excellente qualité de grain, sont préparés comme le riz en Afrique de l'Ouest (grain bouilli). Certains *guinea gambicum*, considérés comme insipides, ne sont utilisés comme nourriture humaine qu'en temps de disette et servent à la fabrication de bière. Au Mali, le couscous préparé à partir de *guinea gambicum* est particulièrement apprécié. Les *guinea guineense* à grains blancs donnent de la farine, ceux à grains rouges sont plutôt employés pour la confection de bière. La farine de *guinea roxburghii* est consommée par les classes pauvres en Inde, ces sorghos étant plutôt appréciés sous forme de pop-corn. Ceux cultivés dans le sud de l'Afrique fournissent des grains de bonne qualité pour l'alimentation humaine.

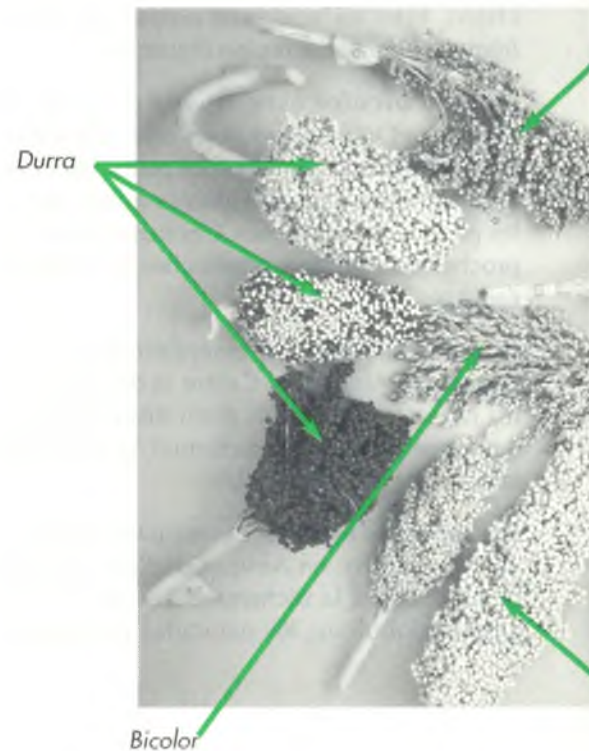
giques (CHANTEREAU *et al.*, 1989) a permis un classement en trois groupes dont les comportements en culture sont distincts :

- *durra*, sorghos rustiques adaptés aux zones sèches ;
- *guinea* et *bicolor*, sorghos rustiques adaptés aux zones humides ;
- *caudatum* et *kafir*, cultivars à fort rendement, en zone intermédiaire. Cette organisation concorde avec la classification raciale, bien qu'elle soit moins discriminante.

La classification enzymatique

Les travaux réalisés à l'aide de marqueurs isoenzymatiques n'ont pas permis de discriminer les races définies par HARLAN et DE WET (1972).

En revanche, OLLITRAULT *et al.* (1989) relèvent une structuration géographique autour de trois pôles : le groupe de l'Afrique de l'Ouest, celui de l'Afrique du Sud et enfin celui de l'Afrique de l'Est et du Centre. La variabilité des cultivars africains est représentative de celle de tous les autres sorghos cultivés dans le monde. Cette étude confirme la



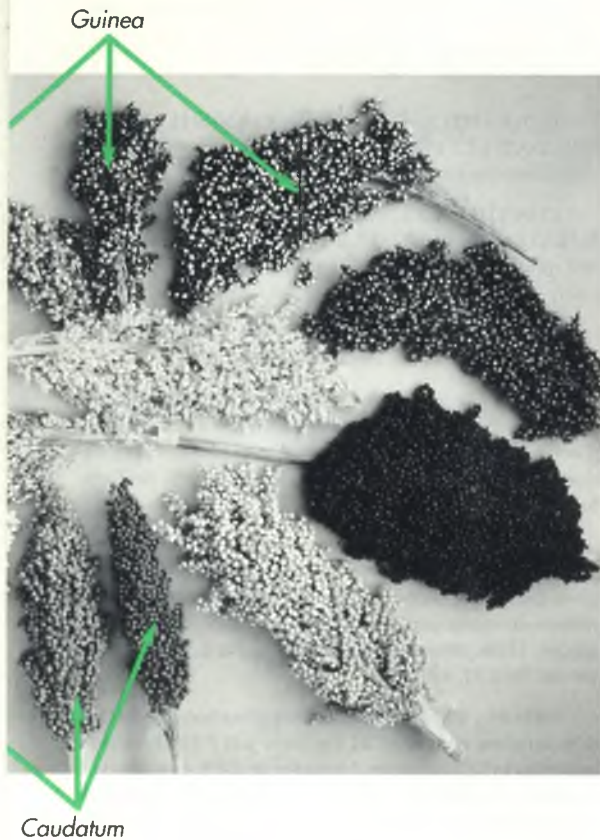
localisation de l'aire de domestication dans la partie nord-est de l'Afrique et une origine monophylétique des sorghos cultivés : la domestication d'un ensemble de formes sauvages a d'abord conduit à la formation de sorghos primitifs proches du type *bicolor* actuel, puis la différenciation raciale s'est effectuée selon les zones géographiques.

Enfin, l'analyse approfondie de la diversité enzymatique des sorghos de la race *guinea* (DEGREMONT, 1992) montre une partition en trois groupes : celui d'Afrique de l'Ouest, celui d'Afrique du Sud et un groupe *guinea margaritifera*.

La classification moléculaire

La classification moléculaire a été établie grâce à l'étude du génome nucléaire, puis celle des génomes chloroplastiques et mitochondriaux.

Dans le premier cas, la variabilité de 100 variétés cultivées est analysée par la méthode du polymorphisme de longueur des fragments de restriction de l'ADN (RFLP), révélé à l'aide de sondes spécifiques du génome nucléaire. Une différenciation raciale a été mise en évidence (DEU *et al.*, à paraître).



Diversité des sorghos cultivés : quatre races et leurs intermédiaires.

Cliché J.-L. Noyer

A l'exception des individus de la race *bicolor* qui ne constituent pas un groupe spécifique (mais dont la variabilité recouvre celle de l'ensemble des formes cultivées), les sorghos cultivés se répartissent en six groupes. La subdivision de la race *guinea* en trois groupes est confirmée (Afrique de l'Ouest, Afrique du Sud, *margaritifera*) ; les races *caudatum*, *kafir* et *durra* forment les trois autres groupes. Les *guinea margaritifera* apparaissent les plus différenciés parmi les sorghos cultivés. L'ensemble de ces résultats reste compatible avec une origine monophylétique des

sorghos cultivés. La race *kafir* présente une variabilité très étroite, déjà observée en analyse enzymatique (OLLITRAULT *et al.*, 1989).

Enfin, ces variétés ainsi que d'autres sorghos *guinea margaritifera* ont été étudiés à l'aide des sondes spécifiques des génomes chloroplastiques et mitochondriaux (DEU, 1993). Aucune structuration géographique n'apparaît. A l'exception des *guinea margaritifera*, la majorité des sorghos cultivés présente un fond génétique mitochondrial commun. L'originalité génétique des sorghos *guinea margaritifera* est confirmée et l'existence de deux entités génétiques au sein de ces sorghos sont identifiées.

Relation entre les formes cultivées et sauvages apparentées

Les travaux conduits sur le génome mitochondrial montrent que la diversité génétique des sorghos cultivés est incluse dans celle des formes sauvages apparentées, à l'exception de l'un des deux groupes de *guinea margaritifera*.

Par ailleurs, aucune race de sorghos cultivés ne semble préférentiellement associée à une race de sorgho sauvage : les trois races sauvages *aethiopicum*, *virgatum* et *verticilliflorum* ont un génome mitochondrial similaire à celui de la plupart des sorghos cultivés — sauf pour les deux groupes de *guinea margaritifera*. Les sorghos *guinea margaritifera* seraient donc génétiquement isolés des formes sauvages étudiées et de l'ensemble des autres sorghos cultivés.

Conclusion : l'application à la sélection

Les caractères et les marqueurs utilisés mettent en lumière des structurations différentes et apportent des informations complémentaires, nécessaires à la compréhension de l'organisation génétique des sorghos de l'espèce *S. bicolor*.

Ainsi, les *guinea* qui présentent le même comportement en culture apparaissent nettement différenciés par les marqueurs biochimiques et moléculaires (les isozymes et les RFLP les séparant en trois ou quatre groupes).

Les usages culinaires traditionnels

- Préparations à partir du grain entier bouilli (Chine, Inde, Afrique).
- Préparation nécessitant un décorticage puis un broyage :
 - bouillie épaisse non fermentée (*tô* en Afrique de l'Ouest, *sankati* en Inde...);
 - bouillie claire plus ou moins fermentée ;
 - couscous (Afrique de l'Ouest) ;
- galettes et beignets ;
- pain levé (*injera* en Ethiopie) et pain plat (*roti* et *chapati* en Inde).
- Boissons non alcoolisées et alcoolisées (bières artisanales, comme le *dolo* en Afrique), alcool (vin de sorgho en Chine).
- Grains soufflés (*pop-sorghum* en Inde).
- Masticage des tiges sucrées.

Il est vraisemblable que ces sorghos ont été l'objet de domestications indépendantes dans au moins deux parties de l'Afrique : l'Ouest et le Sud. Cette diversité d'origine leur assure une forte variabilité génétique entre races, peu exploitée en sélection jusqu'à maintenant.

La variabilité génétique de la race *kafir* révélée par les marqueurs moléculaires est très étroite.

De plus, les marqueurs moléculaires permettent d'estimer une divergence parentale présentant une relation avec l'hétérosis (CHANTEREAU, 1993).

Les informations apportées par ces études pourront être efficacement utilisées dans la gestion et la conservation des ressources génétiques. Une collection de taille plus réduite et de large variabilité devrait être constituée et serait plus accessible aux sélectionneurs.

L'évaluation génétique doit permettre d'orienter le choix des géniteurs dans les programmes d'amélioration (création de lignées ou d'hybrides). Par exemple, la sélection au sein des *kafir* ne pourra aboutir à des progrès génétiques importants. En revanche, la sélection à l'intérieur de la race *guinea* portera sur la création de combinaisons génétiques originales en choisissant des géniteurs dans des groupes différents : *guinea* d'Afrique de l'Ouest et *guinea margaritifera* (DEGREMONT, 1992). Dans les zones humides d'Afrique de l'Ouest, les tentatives d'introduction directe de matériel exotique non *guinea* (Etats-Unis, Inde) se sont soldées par des échecs. En effet, les *caudatum*, *durra* et *kafir* à panicules compactes se sont révélés sensibles aux moisissures et aux maladies locales. Ces races ont fourni des grains de mauvaise qualité, non appréciés des consommateurs. En région humide, les programmes d'amélioration doivent donc intégrer des *guinea* rustiques.

Bibliographie

- ACHEAMPONG E., MURTY ANISHETTY N., WILLIAMS J.T., 1984. A world survey of sorghum and millets germplasm. IBPGR, Rome, Italie, 41 p.
- CHANTEREAU J., ARNAUD M., OLLITRAULT P., NABAYAOGO P., NOYER J.-L., 1989. Etude de la diversité morphophysio-écologique et classification des sorghos cultivés. L'Agronomie Tropicale, 44 (3) : 223-232.
- CHANTEREAU J., NICOU R., 1991. Le sorgho. Paris, France, Editions Maisonneuve et Larose, 159 p.
- CHANTEREAU J., 1993. Etude de l'hétérosis chez le sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) par l'exploitation d'écotypes et l'analyse de leurs divergences. Thèse de doctorat en sciences, Paris, France, université de Paris Sud, 206 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 morphophysio-écologiques. Thèse de doctorat en sciences, Paris, France, université Paris XI, 191 p.
- DEU M., 1993. Etude de l'organisation génétique des sorghos sauvages et cultivés par l'analyse des génomes cytoplasmiques. Mémoire de DEA, évolution et écologie, Montpellier, France, Université des sciences et techniques du Languedoc ; Montpellier, France, ENSAM ; Paris, France, INA-PG. Montpellier, France, CIRAD-CA, 36 p.
- DEU M., GONZALEZ DE LEON D., GLASZMANN J.-C., DEGREMONT I., CHANTEREAU J., LANAUD C., HAMON P., in press. RFLP diversity in cultivated sorghum in relation to racial differentiation.
- DE WET J.M.J., 1978. Systematics and evolution of sorghum sect. *Sorghum* (*Graminae*). Amer. J. Bot., 65 (4): 477-484.
- HARLAN J.R., DE WET J.M.J., 1971. Toward a rational classification of cultivated plants. Taxon., 20 (4): 509-517.
- HARLAN J.R., DE WET J.M.J., 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. Crop Science, 12: 172-176.
- OLLITRAULT P., ARNAUD M., CHANTEREAU J., 1989. Polymorphisme enzymatique des sorghos. II. Organisation génétique et évolutive des sorghos cultivés. L'Agronomie Tropicale, 44 (3) : 211-222.
- SNOWDEN J.D., 1936. The cultivated races of sorghum. Adlard, London, Grande-Bretagne, 274 p.
-

Résumé... Abstract... Resumen

DEU M., P. HAMON — **Diversité des sorghos : application à la gestion des ressources génétiques et à la sélection.**

La collecte, la conservation et l'étude des variétés cultivées traditionnelles et des formes sauvages apparentées revêtent aujourd'hui une grande importance. Pour comprendre l'organisation des sorghos cultivés de l'espèce *Sorghum bicolor* et les relations avec les formes sauvages apparentées, les trois classifications morphologique, enzymatique et moléculaire ont été établies. Elles apportent des informations complémentaires pouvant être efficacement utilisées dans la gestion et la conservation des ressources génétiques des sorghos ainsi que dans les programmes de sélection.

Mots-clés : sorgho, *sorghum*, variabilité génétique, classification, morphologie, analyse enzymatique, marqueur moléculaire.

M. DEU, P. HAMON — **The genetic organisation of sorghum.**

The collection, conservation and study of traditional cultivated varieties and the related wild forms is of considerable importance today. Morphological, enzymatic and molecular classifications have been drawn up to provide understanding of the organisation of cultivated varieties of the species *Sorghum bicolor* and the links with related wild forms. They provide complementary information which is of use in the management and conservation of sorghum germplasm resources and in breeding programmes.

Keywords: sorghum, *Sorghum*, genetic variability, classification, morphology, enzymatic analysis, molecular marker.

M. DEU, P. HAMON — **La organización genética de los sorghos.**

La cosecha, la conservación y el estudio de las variedades cultivadas tradicionales y las formas silvestres emparentadas revisten hoy una gran importancia. Para comprender la organización de los sorghos cultivados de la especie *Sorghum bicolor* y las relaciones con las formas silvestres emparentadas, se han establecido las tres clasificaciones morfológica, enzimática y molecular, que aportan informaciones complementarias que pueden ser utilizadas eficazmente en la gestión y la conservación de los recursos genéticos de los sorghos, así como en los programas de selección.

Palabras clave : sorgho, *Sorghum*, variabilidad genética, clasificación, morfología, análisis enzimático, marcador molecular.

Préparation du tô au Burkina Faso.

Cliché C. Fovet-Robot

