

Étude originale

Création variétale décentralisée

Utilisation de la diversité génétique des sorghos locaux du Mali

Michel Vaksman¹
Mamoutou Kouressy²
Jacques Chantereau³
Didier Bazile³
Fabrice Sagnard⁴
Aboubacar Touré²
Oumar Sanogo⁵
Gaoussou Diawara⁶
Abdoulaye Danté⁷

¹ Centre de coopération internationale
en recherche agronomique
pour le développement (Cirad),
BP 1813,
Bamako
Mali
<michel.vaksman@cirad.fr>

² Institut d'économie rurale (IER),
Sotuba,
BP 438,
Bamako
Mali
<Mamoutou.kouressy@ier.ml>
<acar.btoure@ier.ml>

³ Cirad,
Département Environnements & Sociétés,
UPR 47 « GREEN »,
Campus international de Baillarguet
TA C-47/F,
34398 Montpellier cedex 5
<jacques.chantereau@cirad.fr>
<didier.bazile@cirad.fr>

⁴ Cirad-International Crops Research Institute
of the Semi-Arid Tropics (ICRISAT),
PO Box 39063,
Nairobi
Kenya
<fabrice.sagnard@cirad.fr>

⁵ Groupe de recherche d'action
et d'assistance pour le développement
communautaire (Graadecom),
BP 481,
Sikasso
Mali
<graadecom@afribone.net.ml>

⁶ Association malienne d'éveil
au développement durable (AMEDD),
BP 212,
Koutiala
Mali
<amedd@afribonemali.net>

⁷ Fondation pour le développement
du Sahel (FDS),
BP 6063, San, Mali
<fdssan@afribone.net.ml>

Résumé

Un programme de sélection a été monté au Mali avec pour objectif d'agir simultanément sur l'amélioration de la productivité et sur la conservation de la diversité génétique des sorghos locaux. La méthodologie proposée combine des méthodes de sélection récurrente et de sélection participative directement dans le milieu cible. Les critères de sélection se partagent en quatre grands groupes : l'adaptation au milieu, la productivité, la qualité et le maintien de la diversité génétique. L'élargissement de la base génétique à de nombreuses variétés locales a permis de monter la contribution des gènes des variétés locales à près de 70 % dans la population de base. Le photopériodisme confère aux variétés obtenues une grande plasticité phénologique, le matériel demeure performant quelle que soit la date de semis. Le tallage naturel des variétés locales a été préservé, ce qui permet au rendement d'atteindre 4 t/ha, même à faible densité de semis. Les progrès observés au cours de ce travail montrent que nous sommes encore loin d'avoir épuisé la diversité génétique de notre population de base. Deux voies d'amélioration se dessinent à court et moyen termes : l'introduction des caractères de stabilité propres aux variétés locales dans du matériel amélioré et l'introduction des caractères de productivité dans du matériel local.

Mots clés : amélioration des plantes ; Mali ; productivité ; sorgho ; stabilité génétique ; variabilité génétique.

Thèmes : productions végétales ; ressources naturelles et environnement.

Abstract

Use of genetic diversity of Malian local sorghums

A sorghum breeding program, based on the use of local varieties, the participatory approach and the adaptation to environmental constraints was implemented. The main objective was to rely on local genetic resources to simultaneously improve productivity and preserve genetic diversity. The broadening of the genetic base with local varieties allowed us increase the participation of local varieties' genes to approximately 70% of the basic population. Photoperiod sensitivity conferred a phenological flexibility to the obtained varieties. The material remained successful independently of sowing date. The natural tillering of the local varieties was conserved, which makes it possible to obtain close to 4t/ha even with low planting densities. Our results show that we are still far from having exhausted the genetic variability of our basic population. Two means of improvement are outlined for the short and middle term: the introduction of stability traits characteristic of local varieties into the improved material and the introduction of productivity traits into the local material.

Key words : genetic stability; genetic variability; Mali; plant breeding; productivity; sorghum grain.

Subjects : natural resources and environment; vegetal productions.

Tirés à part : M. Vaksman

En zone sud du Mali, l'augmentation de la fertilité des sols, conséquence de la fertilisation apportée sur le cotonnier, entraîne une demande nouvelle pour l'intensification des céréales. Dans ces conditions, le rendement des variétés locales ne suffit plus aux paysans, qui se tournent vers la culture du maïs potentiellement plus productive (Bazile et Soumaré, 2004). Les céréales traditionnelles se trouvent progressivement marginalisées sur les sols les plus pauvres. L'érosion variétale qui en découle est importante (Kouressy *et al.*, 2006).

À partir des années 1960, pour augmenter la productivité des sorghos en Afrique, les travaux d'amélioration ont utilisé deux démarches (Etasse, 1977). La première consistait à améliorer le matériel local soit par sélection massale soit en utilisant les techniques d'irradiation. Cette démarche a débouché sur une amélioration sensible de la productivité des sorghos dans les systèmes traditionnels. Le matériel obtenu est bien adapté à l'environnement et respecte la diversité génétique. Toutefois, les variétés produites valorisent mal l'intensification des techniques car la morphologie des plantes est restée très similaire à celle des parents locaux et présente un faible indice de récolte.

La seconde démarche cherchait à modifier la structure des sorghos pour les rendre plus productifs en s'inspirant des idéotypes de la révolution verte. On a mis au point des variétés au développement plus rapide et au port moins exubérant que les écotypes traditionnels de grandes tailles (*figure 1*). La recherche de variétés naines, précoces et insensibles à la photopériode a orienté les programmes de sélection. Les grandes sécheresses des années 1970 ont conforté ces objectifs car il semblait logique que la précocité faciliterait l'adaptation à des hivernages plus courts. Pourtant, l'évaluation de l'impact de la recherche sur le développement rural montre que ces nouvelles variétés diffusent peu en champs paysans (Lacy *et al.*, 2006). L'élimination des qualités propres aux variétés locales a rendu le matériel amélioré instable face aux contraintes environnementales.

Les agriculteurs ont domestiqué et sélectionné des céréales qui, quoique peu productives, sont spécifiquement adaptées à leurs environnements. La stabilité de la production et la résistance aux stress biotiques et abiotiques sont des qualités propres aux écotypes ouest-africains qu'il



Figure 1. Sorgho local de grande taille.

Figure 1. Local tall sorghum.

faut conserver dans les nouvelles créations variétales.

Depuis 2002, dans le cadre d'un cofinancement du Fond de solidarité prioritaire (FSP) de la Coopération française et du Fond français pour l'environnement mondial (FFEM), un projet d'amélioration variétale a été mis en place pour favoriser l'utilisation des variétés locales de façon à agir simultanément sur l'amélioration de leur productivité et sur la conservation de leur diversité génétique. De nouveaux critères de sélection ont été définis alliant la productivité avec la qualité du grain et la rusticité des variétés locales. La méthodologie utilisée combine des méthodes de sélection récurrente et de sélection participative directement dans le milieu cible.

Matériel et méthode

Objectifs de sélection

Ce travail fait appel à un nombre considérable de caractères dont les mécanismes et les déterminismes génétiques sont parfois mal connus. Ils se partagent en quatre grands ensembles :

- rusticité et adaptation au milieu : il est essentiel de conserver les caractères de

- rusticité qui permettent de stabiliser la production malgré les fluctuations de l'environnement. Il s'agit notamment de l'adaptation à la structure de la saison des pluies que confère le photopériodisme. D'autres caractères comme l'aptitude à produire des talles ou la résistance à la sécheresse terminale (caractère « Stay Green ») sont également pris en compte ;
- la productivité : les variétés locales sont bien adaptées à la faible fertilité naturelle du milieu mais valorisent peu les bonnes conditions de culture. Les nouvelles variétés devront s'adapter à différents niveaux d'intensification. Elles devront être *au moins* aussi performantes que les variétés locales en conditions de cultures traditionnelles mais capables de produire plus si l'agriculteur décide d'intensifier ;
- la qualité du grain : les critères de qualité sont nombreux et parfois contradictoires. En plus des aspects organoleptiques, la qualité du grain prend en compte les résistances aux moisissures et aux insectes aux champs (punaises) et en greniers (charançons). Pour la plupart de ces caractères, les variétés locales figurent parmi le matériel élite. Nous faisons l'hypothèse que l'introduction massive de ces variétés favorisera l'amélioration de la qualité du grain ;
- la diversité génétique : notre objectif de préservation de la diversité génétique des

sorghos locaux nous amène à contrôler la représentativité du matériel génétique local au sein du programme d'amélioration. L'utilisation de croisements dirigés permet de suivre la généalogie et donc l'évolution de la diversité génétique de la population de base.

Sélection pour la stabilité et la productivité

Les nouvelles créations variétales, potentiellement productives, ne sont pas adaptées à la variabilité du climat africain en raison de leur trop grande précocité. Les travaux réalisés au Mali ont permis de lever les principaux obstacles à l'amélioration des sorghos photopériodiques. Des méthodes de sélection adaptées ont été mises au point et un programme de création de sorghos photopériodiques de tailles courtes a été initié (Kouressy *et al.*, 1998).

On considère souvent qu'il existe une corrélation négative entre les performances de la plante et la stabilité du rendement. Pourtant, la rusticité des variétés locales n'est pas inconciliable avec l'augmentation de la productivité. Des caractères comme le photopériodisme ou l'aptitude au tallage sont positivement corrélés à la productivité. Le photopériodisme permet d'allonger la période végétative et donc d'augmenter la production de biomasse et certaines composantes du rendement. L'amélioration de l'indice de récolte des sorghos locaux photopériodiques est possible par réduction de la longueur des tiges en utilisant les quatre principaux gènes majeurs de nanisme des sorghos.

La capacité de la plante à produire des talles est compatible avec l'obtention de rendements élevés (Lafarge et Hammer, 2002). Ce caractère permet de régulariser la couverture végétale et notamment de compenser les déficits de peuplements dus aux sécheresses en début de campagne. Le tallage assure aussi une colonisation rapide du sol par la culture limitant le développement des adventices et protégeant le sol contre l'agressivité des pluies.

Sélection récurrente

L'amélioration des sorghos locaux se heurte à la très grande dispersion des caractères intéressants dans le matériel local et amélioré. On doit travailler sur un nombre élevé de caractères avec souvent des complémentations génétiques négatives. Il n'est pas possible de réunir tous

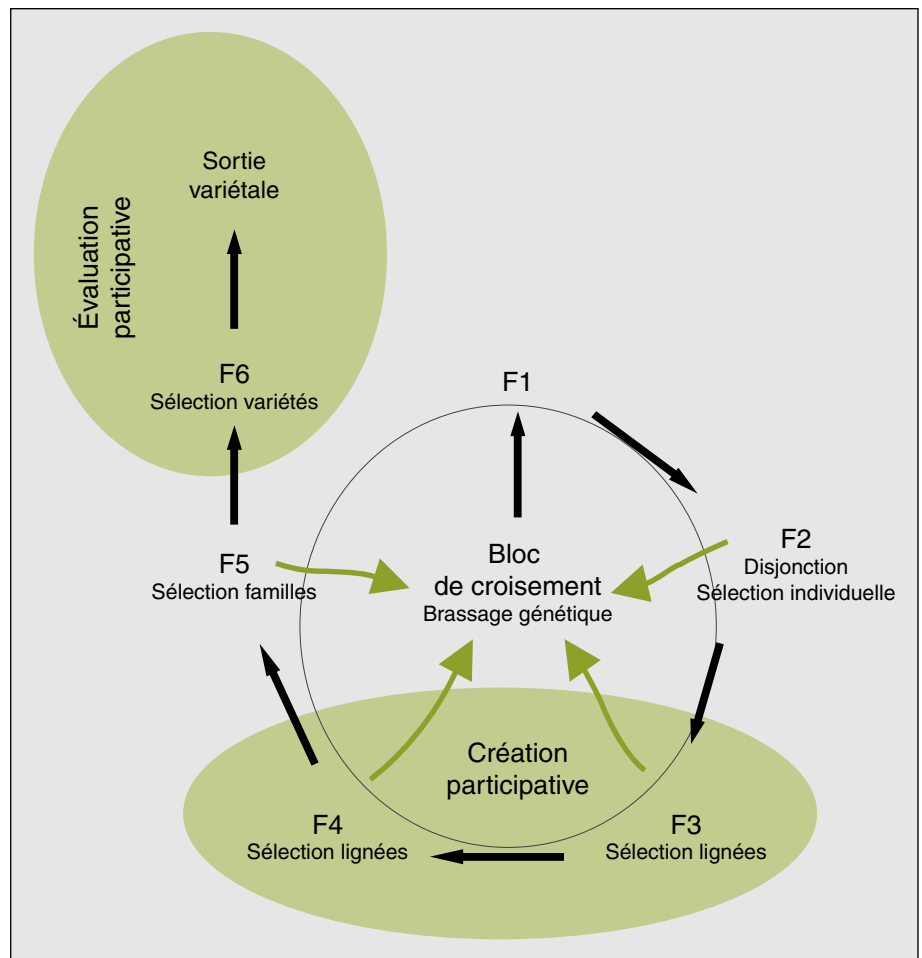


Figure 2. Processus de sélection récurrente.

Figure 2. The recurrent selection process.

Les flèches noires indiquent le processus de sortie variétale par sélection généalogique et les flèches vertes indiquent le retour au bloc de croisement pour un nouveau brassage génétique.

ces caractères en un seul cycle de sélection. La sélection récurrente permet de résoudre ce problème, chaque cycle de sélection cumulant une partie des caractères recherchés.

L'amélioration du matériel de base est formée par la succession de plusieurs courtes sélections généalogiques, le matériel de sortie d'un cycle servant de matériel d'entrée au cycle suivant (Galais, 1997). Un bloc de croisement est constitué de décembre à mars. Il comprend environ 300 parents (figure 2). Chaque année 800 croisements sont réalisés. À partir de février, les hybrides F1 sont semés et on récolte les semences F2 en mai. Les populations recombinantes sont cultivées en saison normale de culture. Les plants sélectionnés sont soit orientés vers une sortie variétale par sélection généalogique soit réintroduits dans le bloc de croisement pour donner

naissance à la population de base de l'année suivante.

Ce travail nécessite l'alternance de nombreux cycles d'intercroisements et de sélections. C'est pourquoi, on accélère, en contre-saison, le développement des générations qui ne nécessitent pas d'évaluation agronomique. Le raccourcissement artificiel de la durée du jour à l'aide de caches provoque une mise à fleur rapide. Il devient possible de réaliser trois générations par an soit un cycle de sélection complet.

Amélioration variétale participative

L'amélioration variétale participative comprend des opérations de création variétale (choix des géniteurs, sélection dans du matériel génétique en ségréga-

tion) et des opérations d'évaluation variétale (Lançon, 2001).

L'utilisation des variétés locales, fruit d'une sélection ancestrale, permet déjà de prendre en compte une partie de l'expertise paysanne. Les populations recombinantes et les premières phases de sélection généalogique sont conduites dans le même environnement que celui où les futures variétés seront cultivées. On réalise ainsi une pression de sélection tenant compte à la fois des pratiques agricoles et de l'environnement spécifique des différentes zones cibles. Pour l'évaluation participative des variétés, le protocole utilisé a été celui des blocs dispersés, chaque paysan représentant un bloc. On caractérise chaque bloc à l'aide d'un indice environnemental qui est égal au rendement moyen du bloc. La relation entre le rendement d'une variété et l'indice environnemental donne des informations à la fois sur la productivité et sur la stabilité des variétés lorsque l'environnement change.

Résultats

Contrôle de l'introgession du matériel local

L'utilisation de croisements dirigés permet un contrôle précis de la généalogie. La composition génétique de chaque individu est connue. Les descendances sont, en moyenne, issues d'un croisement pyramidal impliquant une douzaine de parents différents. Entre 2002 et 2005 la participation des gènes provenant de variétés de type botanique *Guinea* (*Sorghum gambicum* et *Sorghum margaritifolium*) est passée de 30 à 65 % (figure 3) en raison de l'introduction massive de variétés locales dans le bloc de croisements. Ces valeurs moyennes cachent une grande diversité maintenue volontairement au sein de la population (ce taux varie de 15 à 96 % selon les descendances). L'objectif devient à présent d'améliorer les composantes du rendement tout en maintenant le taux moyen de 65 % de gènes de variétés locales.

Plafonnement de la productivité des variétés locales

Les variétés locales répondent à l'amélioration des conditions de culture jusqu'à

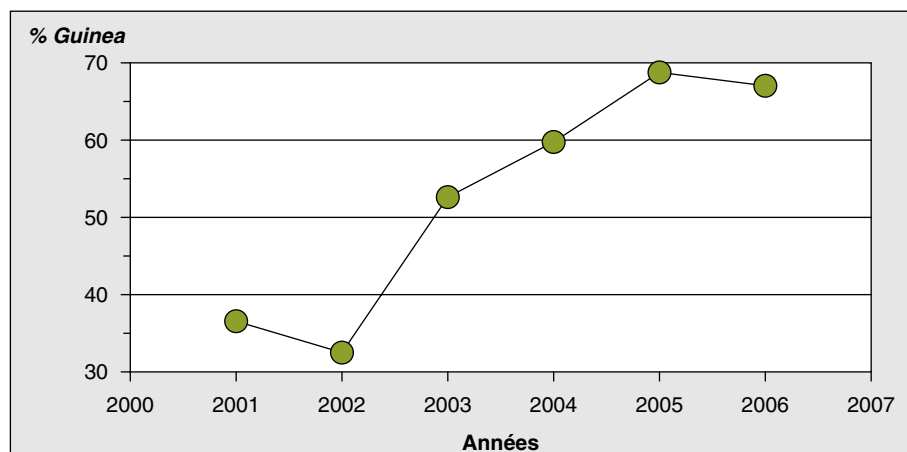


Figure 3. Évolution du pourcentage de gènes provenant de variétés de type botanique *Guinea* dans la population de base du programme de sélection récurrente.

Figure 3. Evolution of the percentage of genes coming from varieties of the *Guinea* type in the base population of the recurrent sorghum breeding program.

En 2003 et 2004, l'élargissement de la base génétique à de nombreuses variétés locales a permis de monter le taux moyen de gènes *Guinea* à près de 70 %. Le programme d'amélioration privilégie à présent l'amélioration de la productivité.

un rendement maximum qui plafonne à 3 t/ha (figure 4). Une intensification trop poussée n'a plus d'effet sur la production de grain, voire un effet dépressif en cas de sécheresse. En champs paysans, la productivité moyenne des ces variétés est nettement inférieure (environ 800 kg/ha ; <http://faostat.fao.org/>) en raison des fortes contraintes biotiques, climatiques et édaphiques qui s'exercent au Mali. Toutefois, lorsque les conditions de cultures sont optimales, les variétés locales

peuvent atteindre ce rendement potentiel. Mais dans ce cas, les paysans préfèrent souvent changer de spéculatif et passent à la culture du maïs dont le potentiel peut atteindre 5 t/ha. En modifiant l'architecture des variétés locales nous cherchons à remonter le plateau de productivité des sorghos lorsque les conditions de culture sont bonnes.

Les trois premiers cycles de sélection ont surtout permis de réaliser le brassage génétique et d'initier la création participa-

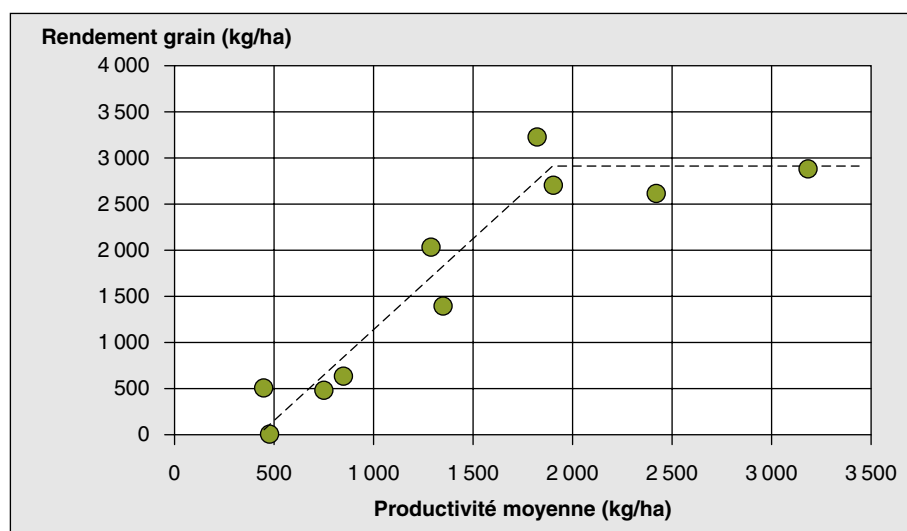


Figure 4. Rendement d'une variété locale en fonction de la productivité moyenne de l'environnement.

Figure 4. Yield of a local variety relative to average productivity of the environment.

On atteint un maximum de productivité vers 3 t/ha. Ensuite le rendement n'augmente plus avec la productivité du milieu.

tive. Ils n'ont pas débouché sur des variétés capables de surpasser le matériel local. C'est seulement à partir de 2006 que

les variétés issues de la sélection récurrente présentent des performances significativement supérieures. La productivité

est similaire à celle des variétés locales à faible niveau de fertilité, mais si on utilise des engrais, les nouvelles variétés expriment un potentiel supérieur avec des rendements qui dépassent 4 t/ha.

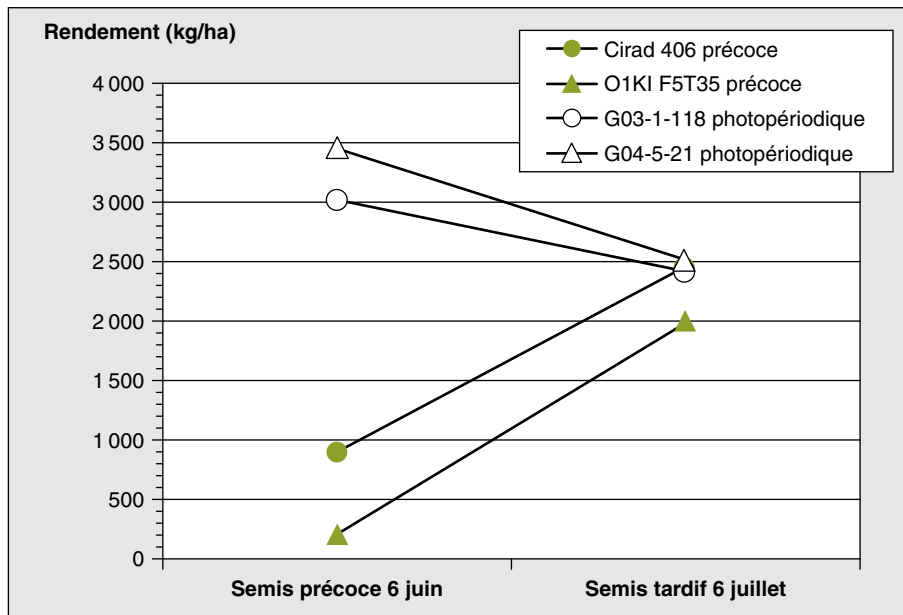


Figure 5. Rendement de quelques variétés améliorées en fonction de la date de semis.

Figure 5. Effect of sowing date on the yield of some improved sorghum varieties.

Cirad 406 et O1KIF5T35 sont des variétés améliorées non photopériodiques, leur rendement s'effondre en cas de semis précoce. G03-1-118 et G04-5-21 sont des variétés améliorées photopériodiques. À l'instar des variétés locales ces deux cultivars valorisent les semis précoces et leur rendement se maintient quelle que soit la date semis.

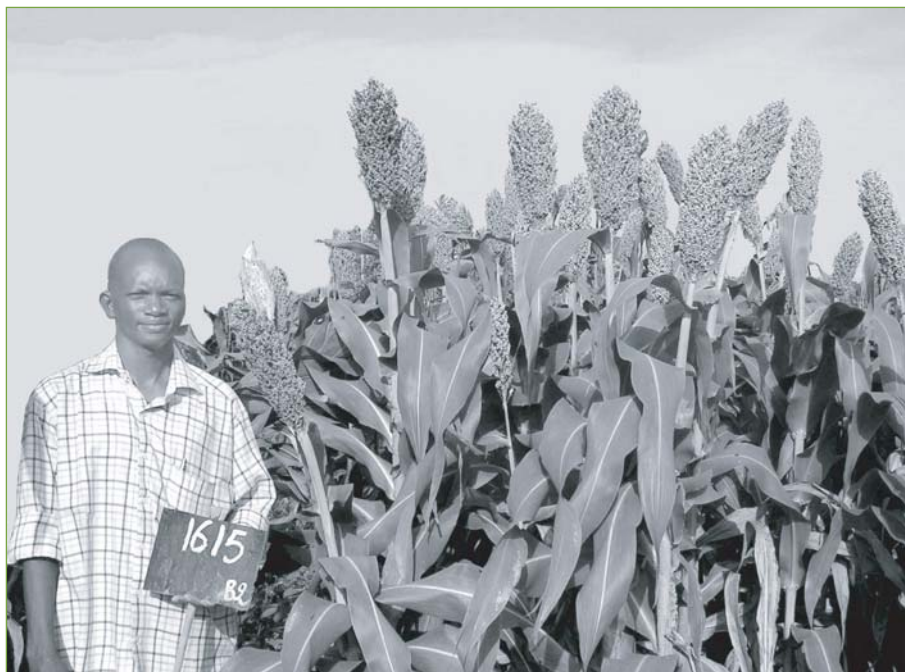


Figure 6. Variété Grinkan.

Figure 6. Grinkan variety.

Introduction des caractères de stabilité (photopériodisme et tallage) dans du matériel amélioré. Progrès rapide sur la productivité.

Plasticité phénotypique

Le photopériodisme des sorghos provoque une diminution de la durée du cycle lorsque la date de semis est retardée, assurant la synchronisation de la floraison avec la fin de la saison des pluies. Notre premier objectif a donc été de créer des variétés avec une phénologie aussi proche que possible de celle des sorghos locaux photopériodiques supposés naturellement adaptés. À chaque cycle de sélection, on conserve une gamme de durée de cycle qui couvre l'ensemble des comportements observés parmi les variétés locales des différentes zones cibles.

La figure 5 compare la productivité de deux variétés améliorées précoces provenant de programmes de sélection classique et de deux variétés améliorées photopériodiques provenant du programme d'amélioration participative. Les variétés améliorées de cycle court ne tolèrent pas le semis précoce. Le rendement est faible en raison des attaques d'oiseaux qui se concentrent sur les premières floraisons et de la moisissure qui déprécie le grain ayant mûri sous la pluie. En revanche, les variétés améliorées photopériodiques demeurent performantes quelles que soient les conditions de semis.

L'aptitude à produire des talles que possèdent les variétés locales a aussi été préservée au cours de la démarche de sélection. Ce caractère permet de maintenir un rendement élevé indépendamment de la densité de semis.

Conclusion

Pour un pays en développement comme le Mali, la gestion des ressources génétiques doit être conciliable avec les impératifs du développement. Pour enrayer l'érosion génétique des céréales locales, le défi à relever consiste donc à remonter leur productivité pour en faire une alternative plausible au maïs dans un système de culture intensifiée.

Les progrès réguliers observés au cours de ce travail montrent que nous sommes encore loin d'avoir épuisé la diversité génétique de notre population de base.



Figure 7. Variété Kéninkéni.

Figure 7. Kéninkéni variety.

Introduction des caractères de productivité dans du matériel local. Le progrès génétique est plus lent mais les objectifs sont ambitieux (prise en compte simultanée de la productivité, de la stabilité et de la qualité).

La sélection récurrente est un processus cumulatif qui doit se poursuivre pour atteindre les objectifs visés. Ces premiers résultats doivent maintenant être confirmés dans des situations diversifiées. L'ensemble du matériel élite issu du programme d'amélioration sera caractérisé pour son degré de photopériodisme. Il sera possible de déterminer leurs zones optimales de culture (Soumaré *et al.*, 2005) et de mettre en place un réseau d'essais multilocaux raisonné.

On a montré la possibilité de concilier la productivité et la stabilité grâce aux caractères des variétés locales. À partir de ces résultats, deux orientations principales se

dessinent à court et moyen terme pour le programme d'amélioration du sorgho :

1. Introduction du photopériodisme dans le matériel élite (*figure 6*). L'introduction du photopériodisme et du tallage rend les variétés modernes moins sensibles aux aléas climatiques. Les performances agronomiques du nouveau matériel sont indéniées. Cette voie d'amélioration permet un progrès génétique rapide mais se heurte à l'amélioration de la qualité du grain très difficile à réaliser.

2. Introduction des caractères de productivité dans du matériel local (*figure 7*). L'avantage de cette méthode est de conserver les qualités propres aux

écotypes locaux. La réduction de taille de la variété locale permet l'amélioration des composantes du rendement à travers le développement d'un plus grand nombre de tiges fertiles par unité de surface. L'amélioration des autres composantes du rendement est possible. On peut améliorer le poids moyen des grains en utilisant des géniteurs de type botanique *Durra*. La taille des panicules peut aussi être améliorée en utilisant des géniteurs appropriés où en valorisant l'hétérosis. Toutefois, cette voie d'amélioration est relativement nouvelle et les progrès sont plus lents. ■

Références

Bazile D, Soumaré M. Gestion spatiale de la diversité variétale en réponse à la diversité écosystémique : le cas du sorgho [*Sorghum bicolor* (L) Moench] au Mali. *Cah Agric* 2004 ; 13 : 480-7.

Etasse C. Synthèse des travaux sur le sorgho. *Agron Trop* 1977 ; 32 : 311-8.

Gallais A. *Théorie de la sélection en amélioration des plantes*. Paris : Masson, 1997.

Kouressy M, Niangado O, Dembélé T, Vaksman M. In : Laura Bacci FNR, ed. *La sélection des sorghos photopériodiques*. Florence : Ce.S.I.A ; Cirad éditions, 1998.

Kouressy M, Vaksman M, Sidibé A. *Diversité génétique, une stratégie de survie au Sahel*. Colloque « La biodiversité végétale. Des plantes pour l'avenir », Troyes, France, 13-15 novembre 2003. 2006.

Lacy SM, Cleveland DA, Soleri D. Farmer choice of sorghum varieties in Southern Mali. *Hum Ecol* 2006 ; 34 : 331-53.

Lafarge TA, Hammer GL. Tillering in grain sorghum over a wide range of population densities : modelling dynamics of tiller fertility. *Ann Bot (Lond)* 2002 ; 90 : 99-110.

Lançon J. *Pour une conception élargie de la sélection participative*. Atelier sur la sélection participative « La sélection participative : impliquer les utilisateurs dans l'amélioration des plantes, Montpellier, 5-6 septembre 2001, Cirad-Micap, 2001.

Soumaré M, Vaksman M, Bazile D, Kouressy M. *Linking GIS and crop modeling to expect sorghum cultivars diffusion area in Mali*. EFITA and WCCA Joint Congress, Vila Real, Portugal, July 25-28, 2005.