

Décembre 2014
volume n° 4 / numéro n° 2
www.agronomie.asso.fr

Agronomie

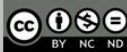
environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie



Variétés et systèmes de culture

Quelle co-évolution ? Quelles implications pour l'agronomie et la génétique ?



Agronomie, Environnement & Sociétés est une revue à comité de lecture et en accès libre éditée par l'Association Française d'Agronomie (AFA) sous le numéro ISSN 1775-4240. Plus d'informations www.agronomie.asso.fr/aes. L'AFA est une association à but non lucratif qui publie des travaux en accès libre.

Les articles sont publiés sous la licence Creative Commons 2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Mise en œuvre de nouvelles stratégies de sélection du sorgho pour les régions à forte contrainte climatique du Mali

Employing new strategies in sorghum breeding for regions of Mali with high climatic stress

Aly BOUBACAR⁽¹⁾ - Assitan DAOU⁽²⁾

Eva WELTZIEN⁽²⁾ - Boba DAKOUO⁽³⁾

Bougouna SOGOBA⁽⁴⁾

Ousmane NIANGALY⁽⁵⁾

Sidi Békaye COULIBALY⁽¹⁾

Hamidou Moussa MAÏGA⁽⁶⁾

Boubacar KONÉ⁽³⁾ - Houzeïmata MAÏGA⁽⁴⁾

Gilles TROUCHE⁽⁷⁾ - Kirsten VOM BROCKE⁽⁷⁾

⁽¹⁾Institut d'Economie Rurale (IER) - Cinzana - Boîte Postale 214 Ségou - Mali - Courriels : alyboubacar02@yahoo.fr scouliba@yahoo.com

⁽²⁾International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) - Boîte Postale 320 - Bamako - Mali - Courriels : adaou1986@yahoo.fr - e.weltzien@icrisatml.org

⁽³⁾Union des Agriculteurs du cercle de Tominian (UACT) - Tominian Mali - Courriel : sc.uact@yahoo.fr

⁽⁴⁾Association Malienne d'Eveil au Développement Durable (Amedd) - Boîte Postale 212 - Koutiala - Courriels : bougouna.sogoba@ameddml.org - houze.maiga@yahoo.fr

⁽⁵⁾Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée - IPR/IFRA de Katibougou - Boîte Postale 06 - Mali Courriel : ousmanenia2000@yahoo.fr

⁽⁶⁾Université des Sciences, des Technologies et des Technologies de Bamako (USTT) - Boîte Postale 423 - Bamako - Mali - Courriel : maïga_m_hamidou@yahoo.fr

⁽⁷⁾Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad) - UMR AGAP Avenue Agropolis - 34398 Montpellier Cedex 5 - France Courriels : gilles.trouche@cirad.fr - kirsten.vom_brocke@cirad.fr

Résumé

Développer des variétés à la fois plus productives et bien adaptées aux conditions pédoclimatiques et aux usages locaux est un objectif majeur de l'amélioration du sorgho en Afrique de l'Ouest. Dans les régions au sud du Mali, les agriculteurs peuvent choisir aujourd'hui parmi une dizaine de variétés vulgarisées, alors qu'une seule variété améliorée est diffusée à grande échelle dans la zone sahélienne. Un programme de création variétale décentralisé et participatif du sorgho a été initié en 2011 dans deux villages de cette zone dans le cadre d'un partenariat multi-institutionnel recherche-organisations paysannes-ONGs. Le programme vise à développer des variétés-lignées et des variétés-populations adaptées aux contraintes agronomiques locales et aux besoins des producteurs. Pour cela, il propose plusieurs innovations comme de (i) créer des variétés dans un contexte de fortes contraintes agro-climatiques ; (ii) effectuer la sélection avec des producteurs-clés et leurs familles durant plusieurs années consécutives ; et (iii) appliquer deux méthodes de sélection,

massale et généalogique, pour comparer leur efficacité. Un premier bilan de ce programme montre que les pressions de sélection exercées par les producteurs sont similaires ou moins élevées que celles habituellement appliquées en sélection généalogique conventionnelle. L'analyse préliminaire du progrès génétique obtenu indique qu'au moins un quart des lignées et populations issues de

ce programme sont supérieures à la moyenne de l'essai pour deux caractères de sélection clés, le rendement et la préférence des producteurs. Cette analyse soulève de nouvelles questions, notamment sur le choix des dispositifs expérimentaux permettant d'évaluer le plus précocement possible la stabilité de rendement, et le besoin de développer des index de sélection multi-critères.

Mots-clés

Sorgho, Afrique de Ouest, critères de sélection, sélection participative, sélection décentralisée.

Abstract

Breeding varieties combining improved productivity, adaptation to environmental constraints and local usages and preferences is a priority for plant breeding in West-Africa. In the south of Mali, farmers can often choose from among ten different improved varieties, yet only one adapted variety is disseminated in the sub-Saharan region of Tominian. A harsh, heterogeneous environment and remoteness from any research facilities makes genetic progress difficult in this region of Mali. With the purpose of developing varieties adapted and relevant to farmer's production systems in Tominian, a decentralized, participatory breeding program has been initiated by a multi-institutional partnership that involves local and national farmer organizations as well as NGOs. The program aims to develop population varieties on the one hand and breeding lines on the other hand adapted to environmental constraints and farmers' preferences. For this purpose the program employs different innovations, such as: i) developing breeding lines and populations varieties in complex and marginal environments, ii) carrying out selection with key farmers and their families during several consecutive years, iii) applying two selection methods, mass and pedigree selection, in order to compare their effectiveness. A first result of the program shows that selection pressures applied by farmers are similar or weaker than in convention pedigree breeding programs. A preliminary analysis of the selection gain indicates that at least one fourth of the breeding lines and populations are significantly superior for grain yield and farmer preference when compared to the trial means. This analysis brings to mind new questions, notably concerning the choice of the experimental design in order to evaluate yield stability in early stages of breeding programs, as well as the need to develop relevant multi-trait selection indices.

Key-words

Sorghum, West Africa, participatory breeding, selection criteria, decentralized selection.

Introduction

Au Mali, la culture du sorgho est peu intensifiée car l'accès aux intrants agricoles, et notamment aux engrais chimiques, demeure difficile pour la plupart des agriculteurs. Grâce à leur rusticité et leur meilleure adaptation aux conditions de culture des systèmes d'exploitation traditionnels, les variétés locales de sorgho restent prédominantes dans les systèmes de production (Bazile et al., 2008). En revanche, dans un contexte de croissance démographique conduisant à la saturation de l'espace foncier et de changement climatique, l'utilisation de variétés améliorées de sorgho ayant un potentiel de rendement plus élevé que les variétés locales est une nécessité pour augmenter et sécuriser la production céréalière au Mali (Guéi et al., 2011).

Contrairement au cas des régions cotonnières situées au Sud-Mali, où plusieurs nouvelles variétés-lignées et hybrides sont vulgarisées (Weltzien et al., 2007 ; Rattunde et al.,

2013), une seule variété améliorée, Jakumbè (CSM63E), est cultivée par les paysans de la région aride de Tominian, située dans la zone sud-sahélienne du Mali (Bazile *et al.*, 2008). Le cercle¹ de Tominian et la région de Ségou dont il dépend, représentent respectivement 4% (25 550 ha) et 13.5% (131 000 ha) des superficies de sorgho du pays (période 2004-2009, CSA/PROMISAM, 2011).

Dans le cadre du projet « Gestion durable de la biodiversité agricole au Mali » (2010-2014)², un programme participatif et décentralisé de création variétale du sorgho a été mis en œuvre dans la région de Tominian dans le but d'accroître l'offre de variétés de sorgho pour les producteurs de cette zone agro-climatique. La création variétale participative (*participatory plant breeding* en anglais) implique directement des producteurs et productrices dans tout le processus de développement des variétés, et, en particulier, dans les étapes de sélection au sein des populations en ségrégation (Lançon, 2001). Cette stratégie de sélection s'appuie donc sur les savoirs locaux des producteurs concernant l'espèce considérée, ses conditions de culture, ses contraintes de production, ses utilisations...

La conception de ce programme de création variétale participative du sorgho (partenariat, méthodes et dispositifs de sélection, rôles des producteurs, etc.), s'est appuyée sur diverses expériences de sélection participative conduites sur des cultures vivrières en zones tropicales, en particulier par rapport aux constats ou questionnements suivants :

- Pour choisir une nouvelle variété les producteurs utilisent de nombreux critères de sélection ayant une définition bien plus élaborée que ceux des chercheurs (Sperling *et al.*, 1993 ; vom Brocke *et al.*, 2010 ; Trouche *et al.*, 2009, etc.). Les producteurs évaluent plutôt le « phénotype » de la plante dans son ensemble, en lien avec son environnement de production et son utilité pour les usages locaux, et non pas une liste de caractères individuels comme cela est fait dans les protocoles formels des chercheurs (vom Brocke *et al.*, 2010).

- La zone d'intervention cible est caractérisée par un environnement biophysique difficile. Les sols sont en général pauvres et/ou dégradés (RuralStruc, 2008) et les précipitations sont faibles et très fluctuantes. La seule station de recherche agricole censée représenter cette zone agro-climatique est située à 230 km à l'Ouest de Tominian. Pour augmenter la corrélation génétique entre l'environnement de sélection et l'environnement de production cible, qui est une composante importante de l'équation de réponse à la sélection (Atlin *et al.*, 2001), le choix a été fait de conduire la sélection directement en champs paysans dans l'environnement cible. La forte convergence entre les deux environnements réduit les effets d'interaction Génotype x Environnement pour les caractères complexes et peu héréditaires comme le rendement, et en conséquence améliore la réponse à la sélection selon la théorie de la sélection (Atlin *et al.*, 2001).

- Notre recherche a également pour objectif de répondre à la question posée par Lançon *et al.* (2006) : sur

quelle structure variétale doit être ciblée par la sélection participative ? Dans le cas du sorgho, plante préférentiellement autogame, doit-elle produire des variétés-lignées ou des variétés-populations ? Les lignées pures ont une structure génétique homogène et homozygote ; elles sont généralement mieux adaptées à un environnement agronomique relativement homogène et proche de celui pour lequel elles ont été sélectionnées. Les populations ont une structure génétique hétérogène et hétérozygote ; elles ont en général une meilleure capacité homéostatique et sont donc mieux adaptées à un environnement hétérogène et variable.

- Finalement, et ce n'est pas le moins important, un enseignement clé des expériences de sélection participative précédentes est le partenariat avec une organisation paysanne locale forte. Cela permet d'assurer non seulement une bonne communication entre les chercheurs et les producteurs, mais facilite aussi le partage et la dissémination des résultats (vom Brocke *et al.*, 2014). Dans le cas de ce programme, l'organisation paysanne partenaire, l'UACT, représente une organisation bien structurée, dynamique et qui surtout bénéficie de la confiance des producteurs adhérents.

Pour la mise en œuvre de ce programme de sélection, les chercheurs et les représentants de l'UACT ont décidé de travailler étroitement avec un groupe de producteurs intéressés et volontaires.

D'un commun accord, le programme a été conduit en trois étapes :

- 1) Identification et définition des objectifs et critères de sélection par les producteurs et productrices ;
- 2) Création par les chercheurs des populations de sélection sources à partir des variétés locales ;
- 3) Sélection et évaluation, réalisée *in situ* par les producteurs femmes et hommes impliqués, sous deux niveaux de fertilité des sols et selon deux méthodes de sélection (généalogique et massale) visant à développer des variétés-lignées et des variétés-populations adaptées à la diversité des conditions agronomiques locales et des besoins des producteurs.

L'objectif de cet article est de décrire et discuter les premiers résultats et enseignements de ce programme de création variétale participative du sorgho. Les critères de sélection des producteurs de Tominian pour choisir une nouvelle variété de sorgho sont d'abord examinés. Une analyse des différentiels de sélection, basés sur la performance pour le rendement en grains et la préférence des producteurs, est utilisée comme un indicateur préliminaire pour évaluer les résultats de l'approche suivie (participative et décentralisée) et des méthodes de sélection testées (massale et généalogique).

Matériel et Méthodes

Sites d'intervention

Cette recherche a été réalisée dans le Cercle de Tominian, région administrative de Ségou, qui est située dans la zone sud-sahélienne du Mali, caractérisée par une pluviométrie annuelle comprise entre 500 et 700 mm. Tominian fait partie

¹ Au Mali, le Cercle est une division territoriale regroupant plusieurs communes et placé en dessous de la région.

² Projet financé par le Fond Français pour l'Environnement Mondial (FFEM) de 2010 à 2014.

des zones du Mali qui ont très peu bénéficié de l'encadrement technique des producteurs, comparative-ment aux zones cotonnières et rizicoles. Le sorgho y est la deuxième culture vivrière après le mil, avec une superficie moyenne de 25,550 ha et un rendement moyen autour de 800 kg ha⁻¹ (CSA/PROMISAM, 2011). Les sols sont de type ferrugineux tropicaux, typiques de l'Afrique de l'Ouest, dont la texture varie entre gravillonnaire, sableux, limoneux et limono-argileux (Bazile et al., 2008). Ils sont caractérisés par une faible fertilité chimique avec un taux de matière organique en dessous de 0,5% et des teneurs en phosphore très faibles (moins de 5 mg-P/kg) selon les analyses de sols effectuées dans le cadre de cette étude (données non présentées).

Sur proposition de l'UACT, deux villages ont été choisis pour conduire ce programme de sélection. Il s'agit de Kagnan, situé dans la commune rurale de Tominian à 13km à l'Est de cette ville (latitude: 13°13' N; longitude: 4°30' W) et Lénékuy, appartenant à la commune rurale de Sanékuy et situé à 45 km au Sud de Tominian (latitude: 13°02' N; longitude : 4°32' W).

A Kagnan, qui un village très ancien, les sols sont souvent lessivés et acides et les parcelles agricoles bénéficient peu ou pas de fumure organique (fumier ou compost). A Lénékuy, les sols sont en général naturellement plus argileux et moins acides et la fertilisation organique y est plus pratiquée.

Les quantités de pluies enregistrées dans les deux villages et sur la station de recherche agricole la plus proche (SRA de Cinzana) ont varié entre 413 et 578 mm en 2011, entre 836 et 1143 mm en 2012 et entre 530 et 668 mm en 2013.

Partenariat

Le programme de sélection a associé trois institutions de recherches, l'Institut d'Economie Rurale (IER) du Mali, l'Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-arides (Icrisat) et le Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad), une organisation paysanne faitière (l'Association des Organisations Professionnelles Paysannes-AOPP), une organisation paysanne locale (l'Union des Agriculteurs du Cercle de Tominian-UACT) et une ONG de développement (l'Association Malienne d'Eveil pour le Développement Durable-Amedd). Toutes ces institutions étaient membres du projet « Gestion durable de la biodiversité agricole au Mali ».

Les objectifs généraux de l'étude et le schéma de sélection ont été formulés par les chercheurs. Ils l'ont ensuite expliqué aux autres partenaires qui l'ont approuvé au cours d'une réunion du Comité de Coordination Nationale du projet³. Par la suite, des rencontres de planification des activités et d'échanges sur les résultats ont été organisées annuellement à Tominian avec des représentants de toutes les institutions partenaires.

Dans ce programme, l'UACT a joué un rôle particulièrement important. Elle a participé au choix des conditions de sélection cibles, des populations de sélection sources et du dispositif et méthodes d'évaluation ex post. Elle était aussi chargée de proposer les producteurs impliqués dans ce programme. Le choix final de ces producteurs a été fait d'une manière participative avec les chercheurs selon les critères suivants : 1) être membre de l'UACT, 2) être cultivateur de sorgho et de mil dans son exploitation agricole, 3) être réceptif vis-à-vis de nouvelles technologies à diffuser, et 4) être disposé à collaborer avec la recherche. Ainsi, huit producteurs-sélectionneurs (quatre par village) ont été choisis pour conduire les étapes de sélection prévues en 2011 et 2012. Ces producteurs ont été impliqués dans la mise en œuvre de toutes les activités afférentes à la création variétale. Pour les opérations de sélection, les producteurs ont été accompagnés par des membres de leur famille. Pour l'étape d'évaluation multi-locale du matériel génétique issu de ce programme, réalisée en 2013, les essais ont été conduits chez 24 producteurs (12 par village) choisis eux-aussi par l'UACT selon les mêmes critères que ceux utilisés pour les huit producteurs précédents. Le tableau 1 détaille le nombre de participants (producteurs et leur famille) qui ont participé aux travaux de sélection et aux essais d'évaluation.

	2011			2012			2013		
	F	H	Total	F	H	Total	F	H	Total
Kagnan	0-2	1-2	11	1-3	1-3	15	0-7	2-13	20
Lénékuy	0-1	2-3	12	0-3	1-2	14	5-6	10-12	17

Tableau 1 - Nombres maximum, minimum et total de producteurs femmes et hommes qui ont participé à la sélection dans les différentes parcelles de sélection (2011 et 2012) et à l'évaluation des différents blocs de l'essai multi-local (2013), dans les deux villages de Kagnan et Lénékuy

Animation du programme de sélection participative

Entre 2010 et 2013, plusieurs ateliers de formation des producteurs et des conseillers techniques ONG et ateliers de concertation entre tous les partenaires ont été organisés dans le cadre de l'animation du programme (tableau 2). Pour identifier les conditions cibles de sélection, qui représentent les conditions de production auxquelles les nouvelles variétés doivent répondre, des interviews individuelles et semi-structurées avec les huit producteurs-sélectionneurs (PSL) désignés par l'UACT ont été menées en 2011. Les questions posées concernaient les systèmes de culture du sorgho et ses contraintes, la caractérisation des champs d'expérimentation dans les deux villages, les variétés cultivées et leurs caractéristiques. Pour choisir les parcelles d'expérimentation, les chercheurs et les producteurs ont identifié ensemble des parcelles utilisées régulièrement pour la culture de sorgho.

Ensuite pour les besoins du dispositif, des parcelles ont été choisies sur un sol relativement fertile et d'autres sur un sol relativement pauvre. Cette classification a été en outre validée pour le village de Lénékuy par des analyses de sol réalisées à posteriori à la fin de la campagne agricole 2011.

³ Organe de pilotage de ce projet.

Action	Objectif	Période	Producteurs	Techniciens
Formation sur la conduite des essais variétaux	renforcer l'autonomie des producteurs pour la mise en œuvre des essais variétaux	Avril 2011	4	1
		Mai 2013	30	2
Formation en création participative	Renforcer les connaissances sur les principes de sélection des populations et lignées	Avril 2012	12	2
		Juin 2012	8	2
Enquête préliminaire	Identifier des conditions cible et les objectifs de sélection des producteurs	Juillet 2011	8	1
Sélection participative	Sélectionner des plantes préférées au sein des populations	Octobre 2011	23	2
	Sélectionner des plantes préférées au sein des populations et lignées	Octobre 2012	29	2
Evaluation des tests multi-locaux	Conduire et documenter l'évaluation des populations et lignées développées par le programme	Novembre 2013	30	2
Restitutions de fin de projet	Restituer et discuter les résultats aux producteurs et autres intéressés	Décembre 2013	100	4

Tableau 2 - Actions menées pour l'animation et le renforcement des capacités des producteurs testeurs

Matériel génétique

Les populations sources du programme de sélection ont été choisies en fonction de leur adaptabilité à la zone d'intervention (durée du cycle à maturité entre 90 et 110 jours) et du type de plante préféré par les producteurs, c'est-à-dire ressemblant au morphotype de leurs variétés locales de race Guinea. Trois des quatre populations sources utilisées sont originaires du Burkina Faso, Tom10-P3 et Tom10-P4, toutes deux issues des croisements entre une

population naine à dominante guinea et une variété locale du Burkina Faso, et PSL04-N°5/2 issue d'un des programmes de création participative conduit au Burkina Faso (vom Brocke *et al.*, 2008). La quatrième population est issue du croisement entre une bonne variété locale de Tominian (Ariho) et la variété améliorée précoce Jakumbé, très appréciée dans la région de Tominian (tableau 3). Ce croisement a été effectué suite à une demande des représentants de l'UACT de « rendre la variété Ariho plus précoce ».

Nom	Description
Tom10-P3	Population à base génétique large issue des croisements entre la Population guinea Naine X Pelogo Fiibsablega (variété locale guinea précoce du Burkina Faso)
Tom10-P4	Population à base génétique large issue des croisements entre la Population guinea Naine X Gnessiconi (variété locale guinea précoce du Burkina Faso)
PSL 04 N°5/2	Population issue des croisements entre une population dérivée d'une variété locale précoce caudatum (Pisnou) et une variété locale guinea (locale Sandié), toutes deux du Burkina Faso
Ariho×CSM63E	Population F2 issue d'un croisement entre une variété locale guinea de Tominian (Ariho) et la variété améliorée préférée CSM63E (Jakumbé)

PSL=Population Sanmatenga à base génétique Large;

Tableau 3 - Description des populations sources utilisées dans le programme de sélection

Méthodes de sélection et dispositifs expérimentaux

Le schéma général de sélection s'appuie sur deux méthodes de sélection appliquées à partir d'une même population source : (1) La sélection massale (SM) visant à produire des « variétés-populations » et (2) la sélection généalogique (SG) pour obtenir des « variétés- lignées ». La sélection a été conduite sous deux niveaux de fertilité des sols, à savoir en sol fertile et en sol peu fertile (pauvre), selon l'identification faite par les producteurs. Pour accentuer la différence de fertilité, les parcelles dites « en sol fertile » ont reçu une fumure organique sous forme de fumier ou de compost (environ 3 t ha⁻¹) et une fumure minérale composée de 100 kg ha⁻¹ de Di-ammonium phosphate (DAP) et 50 kg ha⁻¹ d'urée. Les parcelles dites « en sol pauvre » ont reçu seulement 100 kg ha⁻¹ de DAP. Selon les conditions prédominantes de leurs propres champs, chaque producteur-sélectionneur a opté soit pour une sélection en sol fertile soit en sol pauvre.

Le travail de sélection a débuté en saison des pluies 2011. Les chercheurs ont demandé à chaque PSL et membres de sa famille de sélectionner au sein de la population source qui leur a été attribué les plantes qui rassemblent les caractéristiques recherchées par rapport à leurs objectifs de produc-

tion. Ces critères de choix ont été documentés par les agents techniques et les chercheurs.

Après cette 1^{ère} année, deux méthodes de sélection ont été appliquées :

- Sélection massale : Pour chaque combinaison population source x PSL, la moitié des semences issues de chaque panicle sélectionnée en 2011 a été mélangée pour constituer la population améliorée de cycle 1, dénommée « C1 » (figure 1). Chaque population C1 a ensuite été redonnée au même producteur qui l'a semée dans son champ en saison des pluies 2012 et a poursuivi la sélection selon le même processus suivi en 2011 afin d'obtenir les populations améliorées « C2 ».
- Sélection généalogique : La deuxième moitié des semences a été utilisée pour initier la sélection généalogique (figure 1). Pour cela, des semences issues de chaque panicle sélectionnée en 2011 ont constitué une lignée G1 dans les parcelles de sélection implantées en saison des pluies 2012. Toutes les lignées issues d'une même population source ont été conduites ensemble chez le même PSL, qui, selon les principes de la sélection généalogique, a été invité à faire d'abord une sélection de meilleures lignées et ensuite des plantes préférées à l'intérieur de ces meilleures lignées.

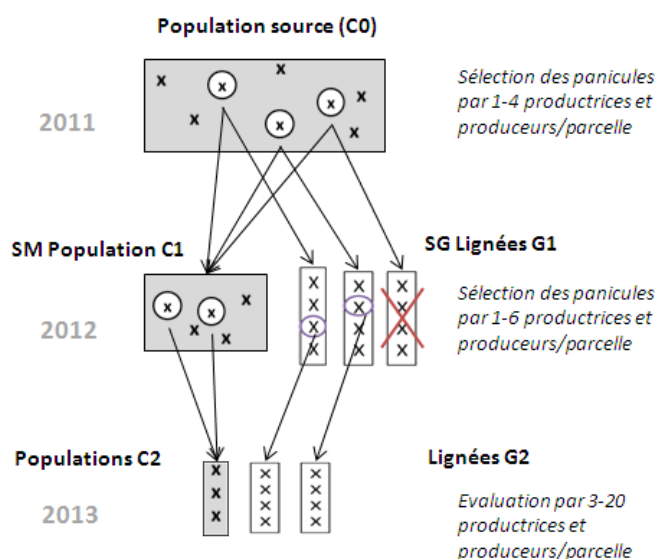


Figure 1 - Schéma de la création participative.

En 2011 chaque population source a été semée sur une superficie de 240 m². Les écartements étaient de 0,80 m entre les lignes et 0,40 m entre les poquets, avec un démariage à deux plantes par poquet, afin d'obtenir environ 1200 plantes. En 2012, chaque PSL a poursuivi la sélection de son propre matériel, c'est-à-dire une population C1 plus les lignées G1 descendant des panicules sélectionnées en 2011. Chaque population C1 a été semée sur une parcelle de 600 m² pour obtenir environ 2500 plantes. Les lignées ont été semées dans un essai conduit selon un dispositif en blocs randomisés avec deux répétitions, avec Ariho comme variété locale témoin et Jakumbé comme variété améliorée témoin. Chaque entrée a été semée sur une ligne de 6m de long avec des écartements de 0,40 m entre les poquets et 0,80 m entre des lignes et un démariage à deux plants par

poquet. Ces expérimentations ont été conduites sous les deux niveaux de fertilité.

Évaluation ex post de la valeur du matériel sélectionné

Après deux cycles de sélection, un essai multi-local a été conduit en saison des pluies 2013 pour évaluer la valeur du matériel génétique issu des deux schémas de sélection (massale et généalogique) et identifier les gains de sélection apportés par rapport aux variétés témoins et aux populations sources. A cet effet, dans chaque village, les 12 producteurs testeurs désignés ont évalué au total 125 entrées différentes réparties entre eux dans des blocs incomplets randomisés, chaque producteur gérant un bloc de 17 entrées dont trois étaient répétées deux fois. Chaque parcelle élémentaire était constituée de deux lignes de 6 m de long avec des écartements de 0,80 m entre les lignes et 0,40 m

entre les poquets sur la ligne. Un démariage a été effectué à deux plants par poquet environ deux semaines après le semis. La fertilisation était identique chez tous les producteurs (80 kg ha⁻¹ de DAP et 40 kg ha⁻¹ d'urée), ce qui correspond à une dose réduite de 20% par rapport à la dose recommandée. Les observations et mesures agronomiques ont été effectuées par un agent technique de l'UACT et un chercheur. Pour cet article, la performance agronomique du matériel sélectionné est jugée par le rendement en grains (RDM) (kg ha⁻¹) calculé à partir du poids sec des grains par parcelle.

En complément, une appréciation ex post des producteurs de toutes les entrées a été réalisée. La méthode appliquée était celle des votes individuels à l'aide de cartes colorées. Chaque producteur évaluateur d'un bloc de 17 entrées de l'essai a reçu 17 cartes blanches (« je souhaite sélectionner cette entrée pour continuer à l'expérimenter »), 17 cartes jaunes (« cette entrée m'intéresse, mais elle a quelques défauts ») et 17 cartes rouges (« je rejette complètement cette entrée »). L'évaluateur a ensuite attribué une seule carte par entrée dans une enveloppe opaque attachée sur la première plante de chaque parcelle. Après comptage des cartes, un index de préférence (IP) a été calculé pour chaque entrée :

$$IP = \frac{[\text{Nombre de carte blanche} \times 1 + \text{Nombre de cartes jaunes} \times 0,5] \times 100}{\text{Nombre total d'évaluateurs}}$$

Les valeurs IP varient ainsi de 0 (entrée ayant reçu uniquement des cartes rouges) à 1 (entrée ayant reçu 100% de cartes blanches). Enfin un différentiel de sélection (DS) a été calculé pour les caractères RDM et IP. Le DS a été défini selon l'équation suivante :

$$DS_i = (a_i - x) / s$$

où a_i est la valeur de l'entrée sélectionnée, x la valeur moyenne du bloc et s l'écart-type calculé à partir des trois entrées répétées dans chaque bloc. Le DS permet de vérifier si la performance d'une lignée ou d'une population sélectionnée est significativement supérieure (ou inférieure) à la moyenne du bloc dans laquelle elle était placée, pour chacun de ces deux caractères. Le calcul des DS permet aussi de comparer des entrées qui sont dans des blocs et villages différents. Des graphiques en boîtes et des nuages de points ont été générés pour mettre en évidence les résultats sur les deux caractères.

Résultats

Identification des critères de sélection

L'enquête sur les conditions de production ciblées pour ce programme de création variétale sorgho à Tominian a confirmé que la variété Jakumbé est la seule variété améliorée intégrée dans le portefeuille variétal des huit producteurs sélectionneurs. Cependant, même si les producteurs ont mentionné plusieurs inconvénients au sujet de leurs variétés locales, Jakumbé, qui est très précoce, tend à être abandonnée par certains producteurs car elle est sensible au charbon « à cause des pluies au moment de la maturité » et est beaucoup attaquée par les oiseaux. La pauvreté des sols

et l'incidence du striga sont des contraintes majeures pour les producteurs interviewés. Les problèmes d'inondation pour les sols les plus argileux est une contrainte spécifique à Lénékuy. Pour les nouvelles variétés, les producteurs souhaitent donc 1) une bonne adaptation à ces contraintes édaphiques locales 2) une résistance au striga, au charbon et à la verse et 3) des variétés précoces mais un peu plus tardives que Jakumbé.

Pour choisir une plante dans une population ou une lignée dans un essai, les producteurs sélectionneurs ont mentionné de nombreux critères. Ces critères ont pu être regroupés en dix aptitudes variétales en 2011 et huit en 2012 (tableau 4). Chacune de ces aptitudes inclut entre un et neuf critères. L'adaptation aux contraintes édapho-climatiques locales (sols pauvres et précipitations erratiques), la forme de la panicule, la qualité technologique des grains et la ressemblance à une variété locale (VL), contribuent particulièrement aux décisions de choix des producteurs. La productivité a surtout été prise en compte en 2011, tandis que l'appréciation de la qualité organoleptique des grains⁴ a surtout contribué aux choix des plantes en 2012. En général, les critères des hommes et des femmes s'accordent pour la plupart des aptitudes variétales. Les critères liés à la productivité (dont la grosseur ou le poids et la forme de panicule) tendent à être plus utilisés par les hommes que par les femmes. Par contre les femmes accordent plus d'importance aux critères de qualité organoleptique des grains. La figure 2 montre que la fréquence d'utilisation d'un critère de sélection donné peut changer selon l'environnement de sélection. Par exemple les conditions de faible pluviométrie subies en 2011 ont surtout affecté la performance des populations implantées sur les parcelles en sol peu fertile, ce qui a incité les producteurs à focaliser leurs choix sur les plantes les plus précoces qui avaient échappé à la sécheresse.

Aptitude variétale	2011		2012			
	%	N	%	N	% F!	% H!
Adaptation	24.6	4	24.4	5	21.8	25.9
Productivité	15.3	1	5.2	1	3.8	6.4
Forme de la panicule	23.1	9	22.4	6	16.7	26.9
Qualité technologique des grains	23.4	5	16.0	3	16.1	15.8
Qualité organoleptique des grains	1.7	3	19.5	3	24.5	15.8
Battage	1.1	3	3.4	1	6.9	0.7
Commercialisation	0.1	1	1.0	1	1.2	1.1
Fourrage	1.0	1	-*	-	-	-
Ressemblance aux variétés locales	9.5	7	7.7	10	8.8	6.4
Symptômes de maladie	0.2	1	0.5	-	0.2	0.8

! Critères mentionnés par des femmes (F) et par des hommes (H)

* Critère non mentionné par les évaluateurs

Tableau 4 - Pourcentage des panicules sélectionnées pour un critère lié à une aptitude variétale donnée et nombre des critères utilisés pour caractériser cette aptitude variétale en 2011 et 2012 à Kagnan et Lénékuy

⁴ Evaluée par les femmes notamment en croquant les grains pour estimer leur dureté et leur amertume.

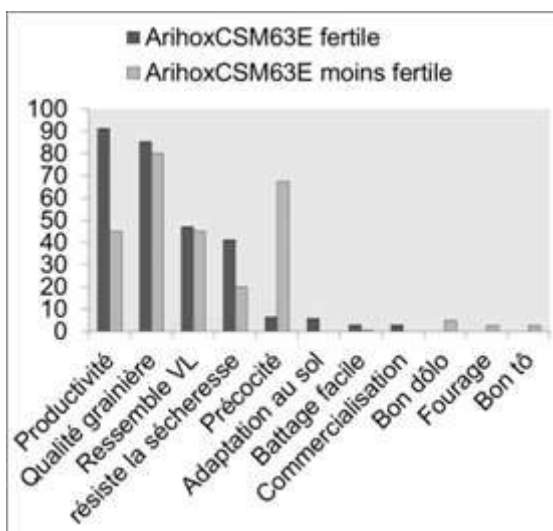


Figure 2 - Pourcentage des panicules sélectionnées en 2011 pour un critère donné à Kagnan dans la population Ariho x CSM63E dans deux environnements différents

Fréquences et intensités de sélection

Dans chaque parcelle de sélection, entre un et trois hommes et entre zéro et trois femmes ont participé à la sélection, avec une meilleure participation des femmes à partir de 2012 :

- En 2011, 278 panicules ont été sélectionnées, dont 72% par des hommes et 28% par des femmes ;

- En 2012, le nombre de panicules sélectionnées par les hommes et les femmes était plus équilibré : 48% pour les femmes et 52% pour les hommes pour un total de 173 panicules choisies en sélection massale, et les mêmes proportions pour un total de 224 panicules choisies dans 79 lignées S1 en sélection généalogique ;

- En sélection généalogique, 62% des lignées G1 ont été sélectionnées soit par une femme soit par un homme, et 20% des lignées ont été retenues en même temps par au moins une femme et un homme ;

- Le témoin local Ariho a été sélectionné dans quatre des huit essais conduits en 2012, tandis que le témoin amélioré Jakumbé a été sélectionné seulement dans un des huit essais.

Le tableau 5 résume les nombres et fréquences des plantes ou lignées sélectionnées par les producteurs par rapport aux effectifs disponibles pour les deux schémas de sélection, massale (SM) et généalogique (SG). En SM, les producteurs ont en moyenne sélectionné 2.2% des plantes avec une sélection plus sévère sur sols pauvres (en moyenne 1.6% des plantes retenues) que sur sols fertiles (en moyenne 2,8%). En SG, le ratio des lignées sélectionnées par rapport aux lignées conduites est entre 5 et 60%.

Population source	Niveaux de fertilité	SG (Nombre de lignées semées/retenues)		SM (% plantes)	
		2011	2012	2011	2012
Ariho x CSM63E	Pauvre	33	14 (42%)	3,4	1,4
	Fertile	36	16 (44%)	2,8	2,5
Tom10-P3	Pauvre	28	11 (39%)	1,4	1,0
	Fertile	62	14 (23%)	5,3	2,9
Tom10-P4	Pauvre	31	11 (35%)	1,6	1,8
	Fertile	15	9 (60%)	2,8	2,5
PSLo4 N°5/2	Pauvre	17	2 (12%)	1,4	1,1
	Fertile	40	2 (5%)	3,4	0,5

Tableau 5 - Résultats de la sélection généalogique (SG) et sélection massale (SM) conduite à Kagnan et Lénékuy. Le tableau indique le nombre des lignées sélectionnées en 2011 et retenues en 2012 en SG et le pourcentage des plantes retenues dans une population par rapport au total des plantes de la population en 2011 et 2012

Gains de sélection après deux ans de sélection

Dans les essais de 2013, les rendements grains moyens par bloc varient entre 400 kg ha⁻¹ et 2000 kg ha⁻¹ (données non présentées). En moyenne, les rendements à Lénékuy sont deux fois plus élevés qu'à Kagnan (1861 kg ha⁻¹ contre 985 kg ha⁻¹). Les hommes et femmes s'accordent fortement dans leur appréciation des différentes entrées, tel que montré par la valeur du coefficient de corrélation calculé entre les IP des deux catégories (r=0.72 significatif à p<0,001). La figure 3 montre une variation importante des entrées pour la variable IP surtout pour les groupes des lignées (L) et populations (P) et une tendance à préférer les variétés locales témoins (Ariho et Doubirou). Le tableau 6 détaille que 25% des lignées et 30% des populations ont un différentiel de sélection supérieur et significatif pour le rendement (RDM) et la

préférence (IP), respectivement. Cependant, seulement six des 108 lignées et deux des 10 populations testées ont un DS supérieur et significatif pour les deux variables en même temps. La figure 4 souligne également que ces deux variables ne sont pas corrélées (r=0.1).

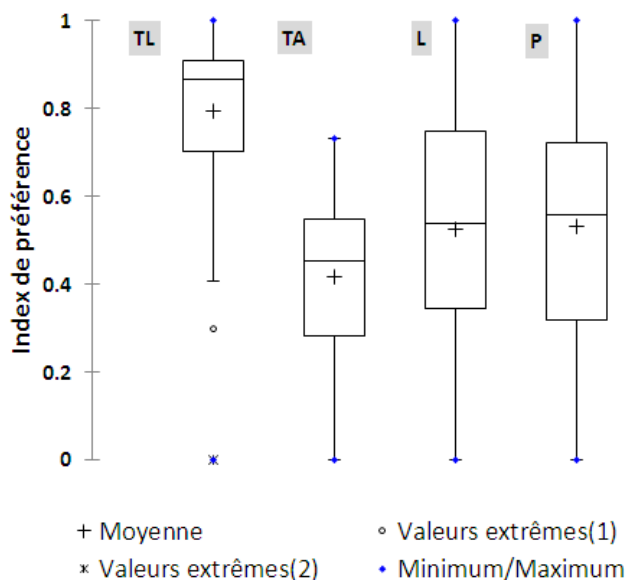


Figure 3 - Variation d'index de préférence (IP) des femmes et hommes calculé à partir des résultats des votes préférentiel des évaluations réalisées dans 24 blocs (essais) à Tominian en 2013. TL=témoins locaux, TA=témoin amélioré (CSM63E), L=lignées, P=populations

Sélections	RDM		IP		IP+RDM	
	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
Lignées (n=108)	27	25	36	33	6	6
Populations (n=10)	3	30	6	60	2	20

Table 6. Nombre et pourcentage de lignées et populations sélectionnées ayant un différentiel de sélection (DS) supérieur significatif pour le rendement en grains (RDM), l'index de préférence (IP) et les deux caractères en même temps

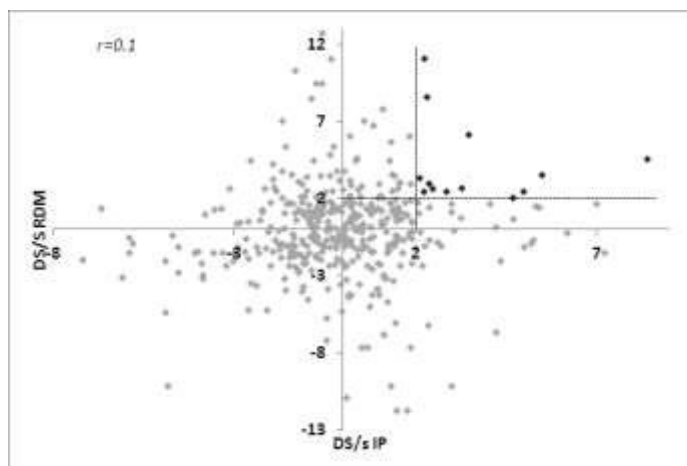


Figure 4. Relation entre la supériorité en rendement grain et la supériorité d'index de préférence des entrées évaluées à Kagnan et Lénékuy à partir des évaluations dans 24 blocs en 2013. Points en gras indiquent des entrées avec un DS/s supérieur et significatif pour les deux caractères RDM

Discussion

Identification des priorités pour un programme de sélection

Cette étude a tout d'abord permis de préciser les priorités des producteurs pour le développement des nouvelles variétés de sorgho adaptées à la zone de Tominian. D'une part,

l'enquête sur les conditions cibles a confirmé l'importance des critères comme la précocité, l'adaptation aux contraintes locales (sécheresse, striga, pauvreté des sols). D'autre part, les évaluations participatives au cours du travail de sélection ont permis d'identifier avec encore plus de précision les critères et préférences recherchés par les hommes et les femmes.

Le grand nombre des critères utilisés par les producteurs pour choisir une variété confirme les observations faites par plusieurs programmes d'amélioration participative du sorgho conduits en Ethiopie (Mulatu et Zelleke, 2002), au Nicaragua (Trouche et al., 2009) et au Burkina Faso (vom Brocke et al., 2010) selon lesquelles une variété doit combiner plusieurs qualités simultanément pour être considérée comme une option intéressante pour leurs systèmes de culture. Dans le cas de ce programme, les critères les plus fréquemment mentionnés sont liés à la qualité de grain, l'adaptation aux contraintes locales et la forme de la panicule. L'importance attribuée à un critère donné peut changer considérablement suivant l'année ou le site de sélection. Les explications possibles de ces divergences peuvent être liées à : 1) la fréquence et l'expression du caractère recherché au sein du matériel évalué ; 2) le profil des évaluateurs (par exemple, une plus grande importance donnée aux qualités organoleptiques des grains en 2012 est probablement une conséquence de la plus grande participation des femmes cette année-là, qui ont porté plus d'attention sur ce critère) ; 3) les conditions environnementales de l'année ; par exemple en 2011, le déficit pluviométrique subi a fortement influencé les choix des producteurs en faveur des plantes très précoces.

Un des principaux critères de sélection utilisés par les producteurs est la ressemblance avec les variétés locales. Ceci confirme le constat fait par Diallo et Weltzien (2010) sur la base de l'évaluation participative d'une diversité de variétés testées à Tominian. Ces auteurs ont trouvé une forte préférence pour les variétés de taille haute avec des panicules lâches ressemblant aux variétés locales. Ce critère de « ressemblance à une variété locale » signifie ici que les producteurs restent très attachés aux caractéristiques morphologiques typiques des sorghos de la race guinée originaires de l'Afrique de Ouest, c'est-à-dire des plantes de taille haute avec des tiges assez souples, des panicules longues, lâches et retombantes, des grains vitreux et des glumes bien ouvertes à maturité. Ces caractéristiques morphologiques des variétés locales sont perçues par les producteurs comme une assurance (garantie) de bonne adaptation et résistance aux contraintes climatiques de la région (humidité, attaques des oiseaux, adaptation aux conditions de faible fertilité) bien que d'autres caractères clé pour l'adaptation au climat comme la sensibilité à la photopériode ne soient pas pris en compte dans leur jugement. Mais il est avéré que des pratiques et des usages du sorgho dépendent étroitement de ces caractéristiques, comme les pratiques de récolte, transport et stockage (les panicules longues avec un pédoncule flexible peuvent être attachées sous formes de bottes et facilement transportées et rangées dans les greniers), la transformation des grains et la préparation des plats, la

construction des nattes et des hangars avec des tiges longues.

Création de variétés productives et adaptées

Le grand nombre de critères de sélection cités pour choisir des plantes dans les populations de sélection, parfois jusqu'à huit critères pour une seule plante montre bien la précision de l'observation des producteurs dans le choix des plantes à sélectionner et donc l'intérêt pour les chercheurs de les impliquer dans le processus de sélection. Les paysans disposent d'une connaissance fine de leur agrosystème et de savoirs techniques élaborés concernant la gestion de leurs cultures (Lavigne-Delville et Wybrecht, 2002). Plusieurs études ont démontré la capacité des producteurs de bien estimer visuellement le potentiel et la stabilité de rendement d'une variété dans leurs propres conditions de production, par des caractéristiques de la panicule ou de la plante entière (Sperling *et al.*, 1996 ; Ceccarelli *et al.*, 2000 ; vom Brocke *et al.*, 2010).

Malgré cette capacité des producteurs d'évaluer la production d'une variété, notre recherche a mis en évidence l'absence de corrélation entre la performance mesurée pour le rendement grains et la préférence par les producteurs évaluateurs. Ceci peut s'expliquer par un manque de différenciation des lignées et populations évaluées en 2013 pour le caractère de rendement, probablement due à hétérogénéité intra-variétale encore élevée, surtout pour les populations. Par exemple, pour un matériel donné, la présence de plantes avec des caractères indésirables entraînera son rejet par les producteurs, même s'il est productif. Une autre explication est que, dans le dispositif d'évaluation utilisé en 2013, les observations de rendement faites pour chacune des lignées et populations testées sont issues d'un seul site et la stabilité de rendement de ce matériel n'a donc pas pu être appréciée. Or, la stabilité de rendement est un critère essentiel dans le choix des producteurs vivant dans des milieux à fortes contraintes agro-climatiques (Sperling *et al.*, 1996 ; Ceccarelli *et al.*, 2000 ; vom Brocke *et al.*, 2010). La capacité d'évaluation multicritère des producteurs peut donc être un atout pour les schémas de sélection où les quantités limitées de semences et de ressources ne permettent pas des tests de rendement multi-locaux à grande échelle dans les premières générations de sélection.

L'intensité de sélection (IS) est un facteur important du gain génétique attendu dans un programme de sélection. Les IS appliquées en 2011 dans les populations sources et en 2012 dans le schéma SM sont de l'ordre de 5% au maximum, ce qui est conforme aux valeurs données dans la littérature (Trouche *et al.*, 2012).

Dans le schéma SG, même si la pression de sélection appliquée par les producteurs a été faible dans certains cas (jusqu'à 60% des lignées retenues), elle a été en moyenne de 34%, ce qui est proche des 15-30% proposés pour cette méthode par plusieurs auteurs (Capettini, 2009 ; Rattunde *et al.*, 2009). Toutefois, dans ce programme, le nombre de plantes sélectionnées a été très variable suivant les conditions d'évaluation et des critères ciblés. Il est possible que dans certaines parcelles de sélection, les producteurs ont

retenu un nombre élevé de plantes en raison d'une faible expression des caractères phénotypiques recherchés ou parce que leur objectif de sélection était large et ciblait plusieurs « idéotypes » en termes d'adaptation et d'usage. On peut aussi supposer que, dans le cas où le phénotype d'une lignée correspond à leurs attentes, les producteurs préfèrent garder un maximum de plantes pour confirmer leur adaptation sous des conditions climatiques différentes à celles de l'année en cours. Mulatu et Zelleke (2002) et vom Brocke *et al.* (2010) ont par exemple montré que des priorités et des critères de sélection diffèrent entre les types ou catégories de producteurs (par exemple entre femmes et hommes).

Gain génétique

Dans un dispositif couvrant une large diversité de conditions du milieu, les différentiels de sélection (DS) calculés permettent de pouvoir comparer les entrées évaluées dans ces différentes conditions et de mettre en relation les observations qualitatives des producteurs et les observations mesurées (rendement) en vue d'une première évaluation de leur valeur globale.

Au vue des performances des lignées et populations pour les caractères évalués, le programme de sélection a été efficace car il a pu produire un nombre assez important des lignées et populations dont au moins un quart s'est montré supérieur à la moyenne de l'essai pour un des deux caractères. Notre recherche indique également qu'il est aussi possible de produire des populations performantes et préférées en utilisant la sélection massale, méthode très simple à gérer dans un schéma de sélection décentralisé. Le nombre des lignées et populations qui présentent en même temps une supériorité significative pour les deux variables (RDM et IP) est cependant relativement bas, notamment pour le cas des lignées. Pour pouvoir accroître cette proportion de lignées « supérieures », plusieurs options sont envisageables : calculer des IP séparément pour les femmes et les hommes, étant donné que même si leur appréciation converge souvent, elle n'est pas totale ($r=0.7$), ou choisir un seuil de sélection moins forte (choix des lignées avec un $DS>1.5$ au lieu de $DS>2$).

Conclusion

Cet article décrit la mise en œuvre d'un programme de création variétale participatif et décentralisé du sorgho au Mali dans un cadre multi-partenarial et donne une première évaluation des résultats atteints après deux cycles de sélection. Ce programme, qui s'est inspiré de l'expérience de plusieurs programmes successifs de sélection participative sur cette culture, apporte cependant plusieurs nouveautés sur le plan de la méthodologie de sélection et des objectifs visés, qui sont : (1) créer des variétés dans un contexte de fortes contraintes agro-climatiques en valorisant des populations sources créées par des programmes antérieurs de sélection participative du sorgho au Burkina Faso ou créées selon la demande des producteurs ; (2) effectuer la sélection avec des producteurs clé et leur famille, chaque famille « gérant son propre programme de sélection » durant plusieurs années consécutives ; et (3) comparer l'efficacité de deux stra-

tégies de sélection participative, à savoir une sélection massale visant à développer des variétés-populations versus une sélection généalogique classique visant à produire des variétés-lignées, pour des environnements de production difficiles. Dès le début, ce programme a intégré une certaine diversité dans les environnements de sélection (sols fertiles et non fertiles, deux terroirs villageois contrastés), l'implication de producteurs hommes et femmes et la prise en compte de nombreux critères de sélection, en vue de produire des variétés pouvant répondre à la diversité des contraintes environnementales, des pratiques et des usages locaux de la zone d'intervention.

Un premier bilan de ce programme indique que les pressions de sélection exercées par les producteurs sélectionneurs (selon les deux stratégies participatives) sont similaires ou moins élevées que celles habituellement appliquées en sélection conventionnelle. L'analyse préliminaire du progrès génétique réalisé selon les deux stratégies participatives suivies révèle des résultats assez positifs, notamment pour la sélection massale. Cette analyse préliminaire soulève de nouvelles questions, notamment sur le choix des dispositifs expérimentaux permettant d'évaluer le plus précocement possible la stabilité de rendement, et le besoin de développer des index de sélection multi-critères.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement tous les productrices et producteurs de Kagnan et Lénékuy ayant participé à ce programme de recherche ainsi que le Fond Français pour l'Environnement Mondial (FFEM) et l'Agence Française du développement (AFD) pour leur soutien financier.

Bibliographie

Atlin G. N., Cooper M., Bjørnstad Å., 2001. A comparison of formal and participatory breeding approaches using selection theory. *Euphytica* 122, 463-475

Bazile D., Dembélé S., Soumaré M., Dembele D., 2008. Utilisation de la diversité variétale du sorgho pour valoriser la diversité des sols au Mali. *Cahiers Agricultures* 17, 86-94

Capettini, F., 2009. Selection methods. Part 2: Pedigree method. In: Ceccarelli, S., Guimarães E.P., Weltzien, E. (eds), *Plant breeding and farmer participation*. FAO, Rome, Italy. pp. 223-228

Ceccarelli, S., Grando, S., Tutwiler, R., Baha, J., Martini, A.M., Salahieh, H., Goodchild, A., Michael, M., 2000. A methodological study on participatory barley breeding. I. Selection phase. *Euphytica* 111, 91-104

Commissariat à la Sécurité Alimentaire (CSA) / Projet de Mobilisation des Initiatives en matière de Sécurité Alimentaire au Mali (PROMISAM), 2011. Rapport provisoire de l'étude portant sur la reconnaissance rapide des axes et circuits de commercialisation des céréales au Mali. Région de Ségou.

http://fsg.afre.msu.edu/promisam_2/reconnaissance_bassin_Segou.pdf. Consulté le 10 Juin 2014

Diallo, C. et Weltzien, E., 2012. PROMISO – Projet Mil et Sorgho: Préférences des producteurs de la zone de Cinzana et Tominian, Mali, dans leur choix des variétés de sorgho. http://www.fidafrique.net/IMG/pdf/Preferences_des_produc_teurs_de_la_zone_de_Cinzana_et_Tominian_Mali_dans_leu_r_choix_des_varietes_de_sorgho.pdf

Fliedel, G., 1995. Appraisal of sorghum quality for making tô. *Agriculture et développement*. Special Issue - December 1995, 35-45

Guéi, R.G., Bentley, J.W., van Mele, P., 2011. A full granary. In: Van Mele, P., Bentley, J.W. and Guéi, R.G. (eds) *African seed enterprises: Sowing the seeds of food security*. CAB International, Wallingford, U.K. pp. 1-7

Lançon, J., 2001. Pour une conception élargie de la sélection participative. In: Acte d'atelier Hocdé, H., Lançon, J. et Trouche, G. (eds) *La sélection participative: impliquer les utilisateurs dans l'amélioration des plantes*. Montpellier, 5-6 septembre 2001, pp 8-17

Lançon, J., Gallais, A., vom Brocke, K., Djaboutou, M., Hocdé, H., Sekloka, E., Vaksman, M., 2006. Quelles structures variétales pour la sélection participative ? In Lançon J., Floquet A., Weltzien E., (Eds.), *Partenaires pour construire des projets de sélection participative*. Actes de l'atelier de recherche, 14-18 mars 2005, Cotonou, Bénin. Cirad, Inrab, Coopération française, Montpellier, France, pp. 111-123

Lavigne-Delville, P., Wybrecht, B., 2002. Les diagnostics, outils pour le développement. Dans: *Le Mémento de l'agronome*, version 2002. Ed. GRET, CIRAD, Ministère français des affaires étrangères, pp. 27-44

Mulatu, E., Zelleke, H., 2002. Farmers' highland maize (*Zea mays* L.) selection criteria: Implication for maize breeding for the Hararge highlands of eastern Ethiopia. *Euphytica* 127, 11-30

Rattunde, W.H.F., Weltzien, E., Diallo, B., Diallo, A.G., Sidibé, M., Toure, A.O., Rathore, A., Das, R.R., Leiser, W.L., Toure, A., 2013. Yield of photoperiod-sensitive sorghum hybrids based on guinea-race germplasm under farmers' field conditions in Mali. *Crop Science* 53, 2454-2461.

RuralStruc, 2008. Changements structurels des économies rurales dans la mondialisation. Programme RuralStruc Mali - Phase II. 490p. www.worldbank.org/afr/ruralstruc

Sissoko, S., Doumbia, S., Vaksman, M., Hocdé, H., Bazile, D., Sogoba, B., Kouressy, M., Vom Brocke, K., Coulibaly, M., Touré, A., Dicko, B.G., 2008. Prise en compte des savoirs paysans en matière de choix variétal dans un programme de sélection *Cahiers Agricultures* 17, 128-133

Sperling, L., Loevinsohn, M.E., Ntabomvuras, B., 1993. Rethinking the farmer's role in plant breeding: local bean experts and on station selection in Rwanda. *Experimental Agriculture* 29, 509-419

Trouche, G., Vom Brocke, K., Aguirre, S., Chow, Z., 2009. Giving new sorghum variety options to resource-poor farmers in Nicaragua through participatory variety selection. *Experimental Agriculture* 45, 451-467

Trouche, G., Lançon, J., Aguirre Acuña, S., Castro Briones, B., Thomas, G., 2012. Comparing decentralized participatory breeding with on-station conventional sorghum breeding in Nicaragua: II. Farmer acceptance and index of global value. *Field Crops Research* 126, 70-78

USAID, 2012. A climate trend analysis of Mali. *Famine early warning systems network-informing climate change adaptation series*, 4p.

<http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3105/fs2012-3105.pdf>

Vom Brocke, K., Trouche, G., Weltzien, E., Barro-Kondombo, C.P., Gozé, E., Chantereau, J., 2010. Participatory variety development for sorghum in Burkina Faso: Farmers' selection and farmers' criteria. *Field Crops Research* 119, 183-194

Vom Brocke, K., Trouche, G., Zongo, S., Abdramane, B., Barro-Kondombo, C.P., Weltzien, E., Chantereau, J., 2008. Création et amélioration de populations de sorgho à base large avec les agriculteurs au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures* 17, 146-153

Vom Brocke K., Trouche G., Weltzien E., Kondombo-Barro C.P., Sidibe A., Zougmore R., Gozé E., 2014. Helping farmers adapt to climate and cropping system change through increased access to sorghum genetic resources adapted to prevalent sorghum cropping systems in Burkina Faso. *Experimental Agriculture* 50, 284-305

Weltzien, E. et Christinck, A., 2005. Identifying farmers' needs and preferences for varieties and specific traits. In: Christinck, A., Weltzien, E., Hoffmann V., (eds) *Setting breeding objectives and developing seed systems with farmers. A handbook for practical use in participatory plant breeding projects.* Margraf Publishers GmbH, Scientific Books, Weikersheim, Germany

Weltzien, E., Christinck, A., Touré, A., Rattunde, F., Diarra, M., Sangaré, A., Coulibaly, M., 2007. Enhancing farmers' access to sorghum varieties through scaling-up participatory plant breeding in Mali, West Africa. In Almekinders C. and Hardon J. (Eds.). *Bringing Farmers Back into Breeding. Experiences with Participatory Plant Breeding and Challenges for Institutionalisation.* Agromisa Special 5, AgromisaWageningen pp. 58-69

Weltzien, E., vom Brocke K., Rattunde, F., 2005. Planning plant breeding activities with farmers. In: Christinck, A., Weltzien, E., Hoffmann V., (eds) *Setting Breeding Objectives and Developing Seed Systems with farmers. A Handbook for Practical Use in Participatory Plant Breeding Projects.* Margraf Publishers GmbH, Scientific Books, Weikersheim, Germany.