

## Projet de Recherche sur les Politiques de Sécurité Alimentaire au Mali

### IMPACTS DES VARIETES AMELIOREES DE SORGHO SUR LES EXPLOITATIONS AGRICOLES FAMILIALES AU MALI: UN MODELE D'EFFET DE TRAITEMENT MULTIVARIE

Par

Melinda Smale, Amidou Assima, Alpha Kergna, Véronique Thériault, Eva Weltzien



## **Politiques de Sécurité Alimentaires: *Articles de Recherche***

Cette série d'articles de recherche vise à faire connaître rapidement les résultats de recherche et d'analyses politiques réalisés par "Feed the Future" du Innovation Lab for Food Security Policy (FSP) et ses associés, financé par USAID. Le projet FSP est coordonné par le Food Security Group (FSG) du Department of Agricultural, Food, and Resource Economics (AFRE) de Michigan State University (MSU), et est mis en place en partenariat avec l'International Food Policy Research Institute (IFPRI) et l'University of Prétoria (UP). Ensemble, le groupe de recherche MSU-IFPRI-UP travaille avec les gouvernements, les scientifiques et les parties prenantes du secteur privé dans les pays ciblés par "Feed the Future" en Afrique et en Asie, pour augmenter la productivité agricole, améliorer la diversité des régimes alimentaires, et construire une plus grande résistance face aux défis du changement climatique qui affectent nos moyens de subsistance.

Ces articles de recherche s'adressent à des chercheurs, des décideurs politiques, des agences de financements, des enseignants, et à tous ceux impliqués dans le développement international. Certains articles seront traduits en Français, Portugais ou d'autres langues.

Tous les articles de recherche et les brèves politique sont téléchargeables gratuitement au format pdf depuis le site internet : [www.foodsecuritylab.msu.edu](http://www.foodsecuritylab.msu.edu)

Tous les articles de recherche et les brèves politiques sont aussi envoyés au département de USAID Development Experience Clearing House (DEC): <http://dec.usaid.gov/>

## AUTEURS

**Melinda Smale** (msmale@msu.edu) est Professeur de développement international du Département d'économie agricole, alimentaire et des ressources naturelles à l'Université d'Etat de Michigan (MSU), East Lansing, MI, USA.

**Amidou Assima** (amidou.assima@gmail.com) est assistant de recherche, statisticien basé au Bureau de l'Université d'Etat du Michigan (MSU), Bamako, Mali.

**Alpha Kergna** (akergna@yahoo.fr) est chercheur au programme Economie des filières (ECOFIL) de l'Institut d'Economie Rurale (IER), Bamako, Mali.

**Véronique Thériault** (theria13@msu.edu) est professeur-adjointe en développement international au Département d'économie agricole, alimentaire et des ressources naturelles à l'Université d'Etat du Michigan (MSU), East Lansing, MI, USA.

**Eva Weltzien** était chercheuse principale (sélection du sorgho et ressources génétiques) au Centre de Recherche sur les Cultures en Zones Tropicales Semi-arides, Bamako, Mali au moment où cette recherche était réalisée [e.weltzien@icrisatml.org](mailto:e.weltzien@icrisatml.org).

**Institut d'Economie Rurale (IER)**. Créé le 29 novembre 1960, l'IER est le principal institut de recherche agricole au Mali avec près de 800 agents dont 250 chercheurs de différentes disciplines. Il comprend 6 centres régionaux de recherche agronomique, 9 stations et 13 sous-stations. Le portefeuille scientifique comprend 17 programmes.

**Michigan State University (MSU)**. Etablie au Michigan, MSU est la plus vieille des universités agricoles « US Land Grant » des Etats-Unis, avec une longue histoire de recherche en politique agricole et alimentaire en Afrique, Asie et Amérique latine.

**Assemblée permanente des chambres d'agriculture du Mali (APCAM)**. L'APCAM est l'organe de coordination des activités des Chambres Régionales d'Agriculture (CRA). Créées par la loi n° 93-044/AN-RM du 04 août 1993, les CRA et l'APCAM sont des établissements à caractère professionnel dotés de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Elles ont pour ressortissants les professionnels évoluant dans les domaines de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche et de l'exploitation forestière. Elles sont des organes consultatifs auprès des pouvoirs publics.

*Cette étude a été réalisée avec le généreux soutien des Américains par une bourse de recherche de United States Agency for International Development (USAID) pour le programme "Feed the Future". Le contenu de cette publication est sous la responsabilité de ses auteurs, et ne reflète pas nécessairement le point de vue de USAID ou du gouvernement américain.*

Copyright © 2016, Michigan State University. Tous droits réservés. Ce document peut être reproduit sans permission pour une utilisation personnelle ou à but non lucratif, en mentionnant MSU.

**Publié par le Department of Agricultural, Food, and Resource Economics, Michigan State University, Justin S. Morrill Hall of Agriculture, 446 West Circle Dr., Room 202, East Lansing, Michigan 48824, USA**

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs expriment leur gratitude au professeur Steven Haggblade, Professeur à Michigan State University (MSU), et à M. Abdramane Traoré, assistant chercheur au bureau de MSU à Bamako. Mention spéciale aux équipes de collecte de données (intervieweurs, superviseurs et agents chargés de la saisie des données) qui, malgré les conditions de terrain souvent très difficiles, ont collecté des données de qualité. Les auteurs tiennent également à remercier les paysans, qui malgré leurs nombreuses responsabilités et charges de travail, ont accepté de répondre aux questionnaires. Cette étude est financée par Michigan State University à travers des financements accordés par la Fondation Bill et Melinda Gates dans le cadre du projet intitulé « Guiding Investments in Sustainable Agriculture in Africa (GISAIA) » et l'Innovation Laboratory for Food Security Policy de l'USAID (Contrat AID-OAA-L-13-00001).

## Résumé

L'adoption des variétés améliorées de sorgho reste faible au Mali, en dépit de l'importance économique de cette culture et des investissements à long terme dans son amélioration. L'une des raisons qui l'explique est que, dans un environnement agricole aussi rude et hétérogène, il est difficile pour les paysans d'obtenir des rendements suffisamment importants pour qu'ils puissent les distinguer dans leurs propres champs. L'homologation des premières hybrides de sorgho, développées au Mali principalement à partir de la race guinéenne locale à travers une approche participative, a le potentiel de changer cette situation. Ici, nous explorons l'adoption des variétés améliorées de sorgho à l'aide du modèle Logit multinomial ordonné, en distinguant les variétés améliorées des hybrides. Ensuite, nous appliquons un modèle d'effet de traitement multivarié afin de mesurer l'impact sur les exploitations agricoles familiales. Nous utilisons les données collectées auprès de 628 exploitations agricoles familiales de la Savane soudanaise du Mali. Compte tenu du fait que les exploitations agricoles familiales maliennes consomment et vendent leur récolte de sorgho, nous examinons les résultats relatifs à la consommation ainsi que ceux relatifs aux rendements. Nos résultats montrent que les caractéristiques du gérant de la parcelle, en plus de la richesse du ménage et de l'offre de main d'œuvre, sont fortement et positivement liées au statut d'amélioration de la semence de sorgho cultivée. L'impact de l'utilisation des hybrides de sorgho sur les rendements est important et significatif, affectant positivement la diversité alimentaire des ménages et contribuant à une part plus importante des ventes de récoltes. Cependant, en termes de consommation, l'utilisation des sorghos hybrides ainsi que des variétés améliorées est associée à la transition vers d'autres céréales. Les conclusions soutiennent l'évidence expérimentale agricole sur l'augmentation de rendements et laissent penser que l'utilisation de hybrides de sorghos bien adaptées peut contribuer à la commercialisation de la culture par les petits producteurs.

## Table des Matières

I.	Introduction .....	1
II.	Contexte .....	2
III.	Méthodes.....	4
	Sources de données .....	4
	Stratégie économétrique.....	6
	Variables.....	8
IV.	Résultats .....	9
	Statistiques descriptives .....	9
	Régression Logit ordonnée.....	11
	Modèles d'effets de traitement multivarié .....	12
V.	Conclusions.....	13
VI.	Implications pour l'élaboration de politiques ou les futurs travaux de recherche .....	14
	Références.....	17

## I. Introduction

Globalement, associée à d'autres pratiques agricoles, la diffusion de semences bien adaptées et améliorées, a contribué à faire augmenter la productivité des principales cultures servant d'aliments de base dont le sorgho (Dalton and Zereyesus 2013; Evenson et Gollin, 2003). Depuis les sécheresses dévastatrices des années 70-80 dans les régions sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest, les instituts de recherche nationaux et internationaux ont investi dans l'amélioration de la productivité du sorgho dans ces régions (Matlon 1985, 1990). Pourtant, au Mali, l'utilisation de variétés de sorgho améliorées reste limitée; les taux d'adoption estimatifs comme pourcentages de la superficie emblavée varient entre 13% et 30%, selon la méthode de mesure, la couverture géographique et la période (Kelly et al. 2015). Du point de vue politique, plusieurs contraintes structurelles ont contribué à cette situation dont la transition lente d'un réseau d'approvisionnement entièrement géré par l'Etat (par ex., AGRA, 2010; Haggblade et al. 2015). Du point de vue du paysan malien, on pourrait affirmer qu'il n'existe pas de filière pour la semence de sorgho (Eva Weltzien, pers. comm 16 avril 2016; voir également Coulibaly et al., 2014).

Au Mali, la plupart des petits producteurs des zones arides disposent de très peu de ressources hormis les semences, la main d'œuvre et les terres familiales pour produire les quantités de de céréales dont ils ont besoin pour survivre. La majorité des producteurs de sorgho maliens demeurent largement en marge des structures formelles d'encadrement (Thériault et al. 2015). En guise de comparaison, les cultures de rente telles que le riz ou le coton (et sa principale culture de rotation, le maïs) ont des filières verticalement intégrées qui fournissent un éventail de services par le biais des coopératives enregistrées.

Le sorgho est un aliment de base traditionnelle au Mali et la Savane ouest-africaine est l'un des centres de domestication de cette culture. Le rôle fondamental que joue la semence de sorgho dans le bien-être des petits producteurs est reflété dans les normes culturelles rurales (Bazile 2006; Sperling et al. 2006). Celles-ci comprennent une inclination traditionnelle pour les semences des variétés locales, une perspective selon laquelle tous les paysans ont droit aux semences et une préférence pour le don ou le partage des semences plutôt que pour leur échange ou achat en argent liquide (Smale et al. 2010). Le système de semences de sorgho est resté « contrôlé par les paysans » (Haggblade et al. 2015), ces derniers diffusant eux-mêmes la plupart des semences locales et améliorées des cultures chaque saison, par le biais des associations, réseaux sociaux et autres relations basées sur la confiance.

Stimuler la demande des paysans pour des variétés améliorées a également été difficile car l'obtention de rendements plus élevés constitue un défi dans cet environnement agricole rude et variable. Récemment, les premiers hybrides de sorghos développés à partir des variétés locales de race guinéenne ont été mis au point grâce à l'expérimentation participative avec les paysans. Jusque-là, les données provenant des essais participatifs en champs montrent d'importants gains de rendements associées aux hybrides de sorgho de race guinéenne dans diverses conditions (Rattunde et al. 2013). Il existe certaines évidences selon lesquelles les préférences concernant l'acquisition de semences pourraient évoluer. Par exemple, un recensement des variétés de sorgho cultivées par 2400 paysans de la Savane soudanienne indiquait que 38% des variétés de semences améliorées et 67% des semences d'hybrides ont été achetées par rapport à celles obtenues à travers des dons ou échanges.

Dans le présent document, nous examinons les modèles d'adoption et mesurons les impacts des variétés améliorées de sorgho sur les exploitations agricoles familles maliennes à partir du début du processus de diffusion des hybrides. Nous faisons plusieurs contributions à la littérature sur ce sujet. Nous prenons d'abord en compte les premiers hybrides de sorgho développées et lancées au Mali. Précédemment, les études quantitatives sur l'adoption, réalisées à partir des données agricoles au Mali, étaient focalisées sur les variétés exotiques améliorées et les races locales « purifiées » (par ex Yapi et al. 2000) ou sur une seule variété (Sanogo and Teme 1996); d'autres récentes études se sont appuyées sur les informateurs clés du système de recherche agricole pour estimer les taux de diffusion nationale (Ndjeunga et al. 2012). Des études de cas détaillées de l'utilisation des semences ont été menées dans certains villages ou groupes de villages, telles que les études de Siart (2008). Nous utilisons des données générées par un échantillon statistique tiré de 58 villages et distinguons les hybrides de sorgho des autres variétés améliorées.

Deuxièmement, nous examinons les impacts de chacune de ces types de variétés sur le bien-être des exploitations agricoles familles. A cet égard, nous utilisons une méthode rarement utilisée, les effets du traitement multivarié (Cattaneo 2010). Plusieurs applications de l'effet du traitement avec les données d'observations dans le développement agricole se rapportent à une affectation binaire, traitée par l'appariement par le score de propension. Nous testons trois estimateurs: l'ajustement de régression (AR). Le modèle amplifié pondéré sur la probabilité inverse (AIPW) et le modèle d'ajustement de régression pondéré sur la probabilité inverse (IPWRA).

Enfin, tenant compte du fait que les petits producteurs maliens sont des familles rurales qui vendent et consomment leurs cultures, nos indicateurs d'impact (résultat) comprennent les rendements des parcelles ainsi que la diversité alimentaire de la famille et la part de sorgho dans la consommation et les ventes. Tenant compte de l'organisation sociale de la production chez les producteurs de sorgho, nous intégrons parmi les variables de contrôle les caractéristiques du gérant de la parcelle en plus de celles de la parcelle, du ménage et du marché. Notre étude, un premier aperçu des hybrides de sorgho nouvellement homologuées, s'appuie sur les données d'enquête quantitatives collectées auprès des exploitations agricoles familles.

Dans la section suivante, nous présentons quelques informations contextuelles sur le secteur du sorgho et l'historique de son amélioration au Mali, en mettant en évidence l'importance des hybrides de sorgho récemment développées et lancées. Le chapitre III explique notre méthodologie, notamment les sources de données, la stratégie économétrique et les définitions des variables de contrôle et de résultat. Ensuite, nous présentons les résultats en indiquant les analyses descriptives, les régressions d'adoption et les modèles de l'effet du traitement. Nous tirons des conclusions et dégageons les implications politiques dans les derniers chapitres.

## **II. Contexte**

Le sorgho est une culture « non centralisée », caractérisée par plusieurs centres de domestication et de diversité en Afrique sub-saharienne (Harlan 1992). La Savane ouest-africaine d'où provient la race guinéenne et où elle continue de dominer, produit la majorité du sorgho de l'Afrique sub-saharienne (Olsen 2012). Les paysans de l'Afrique sub-saharienne cultivent quatre types supplémentaires de « races » de sorgho, à savoir la race *Caudatum* (originaire d'Afrique de l'Est), la race *durra* (qu'on retrouve principalement dans



la Corne de l'Afrique et dans les régions arides), la race *kafir* (cultivée en Afrique de l'Est) et le sorgho colorant qui est largement distribué à travers la région.

Le sorgho de race guinéenne est singulièrement adapté aux conditions agricoles de la savane ouest-africaine. Sa sensibilité à la photopériode permet aux plantes de cette race de s'adapter aux durées des saisons agricoles, ce qui est important pour les paysans lorsque les pluies sont imprévisibles. En outre, ses panicules relâchées et ses épis ouverts réduisent les dégâts causés par les insectes et les moisissures (Rattunde et al. 2013).

La plupart des exploitations agricoles et des agriculteurs maliens cultivent sur des sols arides. Le sorgho et le mil continuent de servir de céréales de base pour l'économie des terres arides, destinées principalement à la consommation des familles rurales qui les cultivent.

Reconnaissant l'importance du sorgho comme aliment de base, le Gouvernement malien a pendant longtemps poursuivi comme objectif l'augmentation de la productivité du sorgho. Pendant les sécheresses des années 1970-1980, les systèmes de recherche nationaux et internationaux ont intensifié leurs efforts visant à améliorer les rendements de sorgho, introduisant également le germoplasme exotique disponible hors des frontières nationales.

Cependant, les taux de croissance des rendements nationaux n'ont pas été aussi impressionnants que prévus. Les rendements rapportés par FAOSTAT (2016) indiquent un taux de croissance moyen de 0,49% de 1961 à 2013. De 1980 à 2013, période correspondant au programme d'amélioration active du sorgho, le taux de croissance moyen des rendements de sorgho était de 2,3%. Cette croissance est relativement modeste, notamment lorsqu'elle est comparée au taux moyen de croissance de 7,6% des rendements de riz sur la même période. Les rendements moyens nationaux ont rarement dépassé 1 tonne par ha.

Au Mali, le sorgho est extensivement cultivé sur des sols dégradés dont la fertilité est faible et qui reçoivent très peu d'engrais ou aucun. Bien que n'étant pas la seule source d'augmentation de rendement, l'utilisation de semences bien adaptées et améliorées peut contribuer à des résultats importants. Les estimations de taux d'adoption du sorgho amélioré diffèrent considérablement selon la source, la méthode de mesure et l'échelle d'analyse bien qu'il y ait peu de doute a) que celles-ci restent modérées et b) qu'elles continuent d'augmenter (Kelly et al. 2015). Par exemple, l'estimation par Malton (1990) de l'utilisation des semences améliorées en Afrique de l'Ouest n'était que de 5%. L'analyse par Diakité (2009) des enquêtes villageoises menées dans les zones de San et Sikasso ont montré que 20% des paysans ont cultivé des semences de sorgho améliorées. Sur la base des interviews avec des informateurs clés, Ndjeunga et al. (2012) ont estimé que jusqu'en 2010, 33% de la superficie nationale était emblavée en variétés de sorgho homologuées depuis 1970 et 21% en variétés de sorgho homologuées depuis 1990. Ces estimations comprennent les variétés améliorées pour lesquelles les paysans n'ont pas remplacé les semences de la même variété depuis plusieurs années, bien que les sélectionneurs recommandent souvent de le faire tous les 3-4 ans afin de maintenir des rendements positifs.

Dans une enquête agricole détaillée, Yapi et al. (2000) ont trouvé que près de 30% de la superficie emblavée en sorgho avait reçu des semences améliorées chez les paysans échantillonnés des principales zones productrices de sorgho de Ségou, Mopti et Koulikoro. Ils ont distingué deux approches de sélection appliquées par le programme national d'amélioration du sorgho: (1) la sélection et « purification » des races locales de qualité supérieure et (2) les croisements avec le germoplasme exotique et la sélection généalogique. Ils ont trouvé que malgré les impacts plus importants du germoplasme au niveau des champs, quand il s'agit de rendements élevés, les paysans préfèrent le premier groupe.

Les travaux de recherche subséquents réalisés par des experts scientifiques du programme national d'amélioration du sorgho ont également prouvé que malgré le potentiel de rendements des cultivars basés sur le germoplasme exotique, la qualité de leurs graines n'était pas vraiment appréciée. Les variétés de ce groupe manquent souvent de résistance face aux insectes et à la moisissure. En général, il n'est pas facile d'obtenir des changements plus grands que des rendements marginaux sans la vigueur de l'hybride. Les importantes variations du climat, des sols et des systèmes agricoles signifient que le degré de stress végétal est non seulement élevé, mais également très variable au niveau des champs avoisinants et d'un champ à l'autre. Les paysans doivent pouvoir observer des différences de rendements sur plusieurs saisons et au niveau de plusieurs parcelles afin de reconnaître si une nouvelle variété a des avantages sur lesquels ils peuvent compter.

Depuis, le programme de sélection végétale du sorgho a pris deux autres directions. La première est la méthode participative d'amélioration du sorgho basée sur un réseau d'essais en champs sur plusieurs sites et gérés par les paysans. La deuxième est le développement de hybrides de sorgho issus principalement du germoplasme de race guinéenne. En résumant les résultats des essais en champs réalisés par les petits producteurs de la Savane soudanienne, Rattunde et al. (2013) ont rapporté des rendements plus élevés des hybrides individuelles allant de 17% à 47% par rapport aux variétés locales, les trois premières hybrides moyennant 30%. Dans cette région, ces rendements positifs n'ont jamais été obtenus avant avec les variétés améliorées ; l'avantage moyen de la variété de cultivar de lignée pure sélectionnée (Lata), une variété parentale des nouvelles hybrides de sorgho, ne dépassait celui de la variété locale que de 6% (Tieble). Les essais en champs analysés par Rattunde et al. (2013) représentaient un large éventail de conditions agricoles avec des variétés cultivées avec ou sans engrais. Comme autre point de comparaison, les auteurs citent les travaux précédents réalisés par House et al. (1997) au Niger et au Burkina Faso qui ont rapporté des augmentations de rendements de 49 à 185%.

### **III. Méthodes**

#### **Sources de données**

La base de sondage est l'ensemble des données du recensement des ménages producteurs de sorgho (2430) mené dans 58 villages situés dans les Cercles de Kati, Dioila, et Koutiala avait pour objectif de documenter l'utilisation de variétés de sorgho et de mesurer leur adoption sans erreur d'échantillonnage. Tous les noms de variété indiqués par les paysans et leur statut d'amélioration (locale, améliorée, hybride) ont été identifiés grâce à l'assistance des techniciens de terrain et également vérifiés par les sélectionneurs de sorgho travaillant avec le programme national au Centre International de Recherche sur les Cultures Tropicales en Zones Semi-arides.

Kati et Dioila sont situés dans la région de Koulikoro et Koutiala dans la région de Sikasso. Les régions de Sikasso et Koulikoro ont les plus grandes proportions de terres situées dans la zone de la Savane soudanienne et sont les principales régions de production de sorgho en termes des superficies emblavées et de la production totale,

Jusqu'à la saison 2012-2013, ces deux régions représentaient plus de 51% de la superficie totale emblavée en sorgho du pays (Cellule de Planification Statistique du Secteur du Développement Rural (CPS-SDR)). Par conséquent, elles représentent des zones-cibles prioritaires de sélection végétale du sorgho et, notamment, de développement des hybrides au

Mali. Tous les villages sont situés au niveau des isohyètes correspondants à la vaste zone soudanienne près du centre, juste en dessous ou au-dessus de l'isohyète de 800 mm.

L'unité statistique de l'enquête de base, et généralement au Mali, est l'Exploitation Agricole Familiale (EAF). Selon la Loi d'Orientation Agricole, l'EAF est une unité de production constituée d'un ou de plusieurs membres unis par des liens de parenté et exploitant en commun les facteurs de production en vue de générer des ressources, sous la direction d'un des membres, désigné chef d'exploitation, qu'il soit de sexe masculin ou féminin. Le chef d'exploitation assure la maîtrise d'œuvre et veille à l'exploitation optimale des facteurs de production définis comme tels par les membres de la famille élargie. Pour les EAF que nous étudions ici, la première priorité est universellement la sécurité alimentaire. Le chef d'exploitation représente l'exploitation dans tous les actes de la vie civile, y compris au niveau des programmes gouvernementaux. Il ou elle peut désigner un chef de travaux pour superviser les activités dans les champs et gérer l'EAF en son nom ou de l'assister en cas de contraintes physiques ou autres.

L'exploitation agricole familiale est une organisation complexe composée de plusieurs parcelles sur lesquelles plusieurs plantes sont cultivées. Les parcelles sont gérées collectivement et individuellement par plusieurs membres de la famille. Les membres comprennent généralement le chef de ménage, ses femmes et ses enfants, les fils mariés et leurs épouses et enfants, ses filles et fils célibataires et d'autres membres de la famille. Les parcelles communes appartenant à l'ensemble de l'EAF sont gérées par le chef d'exploitation ou le chef des travaux au nom de l'EAF. Les parcelles individuelles appartiennent à l'EAF mais sont emblavées et gérées par les membres individuels, hommes comme femmes. La production agricole à partir de ces parcelles n'est pas gérée collectivement. A chaque saison agricole, le chef d'exploitation attribue des parcelles individuelles selon les besoins de la famille.

Pour une analyse plus détaillée de l'adoption et de ses effets sur le bien-être des ménages producteurs, un échantillon d'EAF a fait l'objet d'un tirage aléatoire simple en utilisant le taux d'adoption de base des variétés améliorées (22%) pour calculer la taille de l'échantillon. Cet échantillon a été majoré de 5% pour tenir compte des non-réponses potentielles et en raison de leur petit nombre, toutes les EAF productrices de hybrides ont été prises en compte. La taille de l'échantillon finale pour l'analyse de l'adoption et de l'impact est de 623 EAF représentant un taux de sondage de 25%. Les enquêteurs ont inventorié toutes les parcelles gérées par chaque EAF incluse dans l'échantillon, en fonction de la culture et le type de gestion de parcelle. En tenant compte des parcelles de sorgho et de maïs uniquement (en raison de contraintes budgétaires), une parcelle a été tirée de façon aléatoire par type de gestion et par EAF. L'échantillon total de parcelles de sorgho analysé ici, dont celles gérées collectivement et individuellement, est de 734. Dans cette analyse, la parcelle est définie par variété, c'est-à-dire qu'une seule variété de sorgho est emblavée par parcelle.

L'enquête à passages répétés a été réalisée en quatre étapes, entre août 2014 et juin 2015, en utilisant un questionnaire sur papier combiné à des interviews personnelles assistées par ordinateur réalisées par une équipe d'enquêteurs expérimentés recrutés par l'IER. Les passages ont porté sur 1) les inventaires de parcelles, le bétail, l'équipement agricole et les ressources des ménages; 2) l'utilisation d'intrants et de main d'œuvre dans les parcelles de sorgho et de maïs, 3) le calcul de la superficie et de la production des parcelles de sorgho et de maïs, 4) les dépenses de consommation et les transferts d'argent des migrants.

Les villages enquêtés comprennent ceux indiqués comme sites retenus par le programme national de recherche (Institut d'Economie Rurale-IER) et le Centre International de Recherche sur les Cultures Tropicales en Zones Semi-arides (ICRISAT) pour mener, dès 2000, des activités d'expérimentation à travers le réseau des associations de paysans. Nos conclusions sont donc représentatives des zones relativement touchées par le programme national de sorgho. Cependant, l'analyse des taux d'adoption dans le recensement de base montre une variation de 0% à 80% et une distribution qui ne diffère pas significativement de la normale, ce qui nous permet de traiter les villages comme s'ils avaient été tirés aléatoirement plutôt que de former un groupe de contrôle à part. Certains villages ont décidé de ne pas tester les variétés; dans d'autres, le programme de sorgho n'a réalisé des enquêtes que pour se familiariser avec les priorités des paysans. Les taux d'adoption au niveau village dépendent des stratégies de diffusion, appliquées par les associations de producteurs et d'autres réseaux sociaux sous-jacents par lesquels les semences sont échangées entre paysans, plutôt que d'un programme gouvernemental géré formellement et caractérisé par des critères de sélection spécifiques.

### **Stratégie économétrique**

Notre analyse a deux composantes. Premièrement, nous explorons les déterminants du choix de la variété au niveau de la parcelle. L'estimation de deux équations séparées d'adoption (une pour les variétés améliorées et une pour le sorgho) est une stratégie faisable mais elle ne représenterait pas les relations mutuelles dans les composantes soit systématiques soit randomisées de la décision concernant le choix de la variété. Le Probit bivarié serait une option de modélisation qui permet des corrélations dans la structure des erreurs. Sur le plan conceptuel, nous préférons un modèle Logit ordonné qui nous permet de distinguer trois types de variétés de sorgho : locale (0), améliorée (1) et hybride (2). L'ordre que nous désignons quelques fois comme le « statut d'amélioration », reconnaît plusieurs différences potentiellement importantes entre ces trois catégories. Plusieurs variétés améliorées cultivées par les paysans sont les variétés populaires ayant été homologuées depuis très longtemps déjà et pour lesquelles la semence a été réutilisée et partagée entre paysans. Les hybrides de sorgho ont tous été introduits à petite échelle depuis 2010, servant de base pilote d'expérimentation par les paysans. En outre, bien que les indications fournies par les essais en champs montrent que ces hybrides sont performantes avec ou sans engrais (Rattunde et al. 2013), les paysans et les agents de vulgarisation précisent souvent qu'elles « exigent » des engrais. Par ailleurs, il est recommandé que les paysans remplacent la semence d'hybride chaque année alors que le remplacement annuel est considéré comme étant moins importante pour les variétés de sorgho améliorées, tant que les bonnes pratiques de stockage des semences sont respectées. Des indications suggèrent que la plupart des rendements de la deuxième génération d'hybrides continuent d'être de meilleure qualité que les variétés locales qui, typiquement, font souvent partie des variétés préférées des paysans (Eva Weltzien, comm. pers., 22 avril, 2016; Rattunde et al. 2014).

Dans la deuxième composante de notre analyse, nous estimons le modèle d'impact. L'essai contrôlé randomisé (ECR) est souvent vu comme « l'étalon-or » des méthodes d'évaluation car il élimine le biais de sélection (Imbens et Wooldridge 2009). Le biais causé par le tirage non aléatoire peut provenir soit de l'emplacement du programme ou des critères de participation soit des processus d'auto-sélection. Dans notre contexte, les processus d'adoption ont été naturels avec des interventions programmatiques occasionnelles sur une période de plusieurs années ; l'affectation des traitements n'est pas aléatoire car certains paysans choisissent d'adopter alors que d'autres non. Une fois introduite dans une communauté par un projet ou programme de développement, la semence améliorée de

sorgho, comme la semence des variétés locales de sorgho, est diffusée d'un paysan à un autre selon les rapports de confiance, notamment les proches parents, les réseaux sociaux, les associations formelles et informelles. Ainsi, nous nous attendons à ce que les adoptants et les non-adoptants soient systématiquement différents. Différentes méthodes ont été utilisées pour résoudre la question de la définition d'un contrefactuel avec des observations non expérimentales, y compris la classe des modèles d'effet du traitement que nous utilisons ici. Ces modèles rendent le traitement et le résultat indépendants en conditionnant sur les valeurs des covariables ou des variables de contrôle.

Soit  $y_{1i}$  le résultat potentiel de l'individu  $i$  s'il/elle adopte une variété améliorée de sorgho et  $y_{0i}$  sinon. Soit  $d_i$  une variable muette représentant le statut d'adoption. Pour chaque individu, nous observons  $y_i = d_i y_{1i} + (1 - d_i) y_{0i}$ ; c'est-à-dire nous observons  $y_{1i}$  pour les adoptants et  $y_{0i}$  pour les non-adoptants. L'effet moyen du traitement (ATE) et l'effet moyen du traitement sur les traités (ATET) sont donnés par:  $ATE = E[y_{1i} - y_{0i}]$ ;  $ATET = E[y_{1i} - y_{0i} | d_i = 1]$ . Avec les données d'observation, nous n'observons en réalité que le résultat d'un cas de figure possible. Le résultat des autres cas est en effet potentiel (Rubin, 1974).

Dans le cas du traitement binaire, l'appariement est devenu une méthode populaire (Imbens and Wooldridge, 2009), compte tenu notamment des difficultés d'identification des instruments adaptés pour l'analyse des doubles moindres carrés. Cependant, l'appariement est basé sur l'hypothèse d'indépendance conditionnelle qui stipule que le vecteur de covariable contient, comme prévu, toutes les variables de traitement qui influent sur l'affectation de traitement. Le problème majeur des méthodes d'appariement se trouve dans la présence potentielle de biais dissimulés provenant des covariables non observables ne pouvant pas être testées.

Cattaneo (2010) propose une démarche alternative qui peut être appliquée avec le traitement multivarié et diffère dans le mode par lequel le traitement s'inscrit dans l'analyse et l'ATE est estimé. Cette démarche est particulièrement intéressante car elle pallie au problème de l'existence potentielle d'un biais de sélection et les résultats obtenus sont robustes. En appliquant cette approche, nous modélisons le résultat potentiel comme suit:

$$y_i = \sum_{t=0}^2 d_i(t) y_i(t) , \quad (1)$$

Où  $i$  est un indice pour les observations ( $i=1, 2, \dots, N$ );  $y_i$  est le résultat observé qui nous intéresse ;  $d_i(t)$  est un indicateur égal à 1 si le type de traitement est  $t$  et 0 sinon; et  $y_i(t)$  est la variable de résultat si le type de traitement est  $t$ ;  $t$  est un indice pour le type de traitement ( $t = 0$  s'il s'agit de la variété locale (contrôle de traitement), 1 de la variété améliorée, and 2 de la variété hybride).

Nous estimons trois modèles de traitements multivariés pour estimer l'ATE et l'ATE en pourcentage de la valeur du contrôle. Le modèle de base est l'ajustement de régression (AR). En guise de contrôle de la robustesse, nous présentons également les effets de traitement moyens en appliquant le modèle amplifié pondéré sur la probabilité inverse (AIPW), le modèle d'ajustement de régression pondérée sur la probabilité inverse (IPWRA) ou les modèles « doublement robustes ». Les estimateurs pondérés sur la probabilité inverse

(AIPW) et d'ajustement de régression pondérée sur la probabilité inverse (IPWRA) modélisent à la fois le résultat et la probabilité de contrôle. Ils permettent une estimation cohérente des paramètres de traitement lorsqu'au moins l'un des modèles de résultat ou de traitement est correctement spécifié. Pour cette raison, ces modèles sont connus comme ayant une « propriété de double robustesse ». Contrairement aux approches AIPW et IPWRA, les estimateurs AR modélisent le résultat sans aucune hypothèse sur le mode de traitement. Les estimateurs AIPW et IPWRA peuvent, donc, être plus efficaces que l'AR (Cattaneo 2010).

## Variabes

La base conceptuelle du modèle de notre choix de variété est le modèle non séparable du ménage agricole (Singh, Squire et Strauss 1986), reflétant la production par une exploitation agricole familiale (EAF) qui déploie principalement sa propre main-d'œuvre disponible et ses terres pour répondre aux besoins en aliments de base. Dans les données de notre enquête, nous ne trouvons pratiquement aucune indication de l'existence de marchés des terres et de la main d'œuvre; les familles rurales consomment, vendent et offrent leurs récoltes à d'autres.

Selon cette base conceptuelle, nous nous attendons à ce que les dotations en capitaux (richesses, niveau d'instruction, main d'œuvre disponible) et la proximité par rapport aux infrastructures commerciales affectent les coûts de transactions et ainsi la probabilité d'acquérir des intrants pour la production de sorgho. Bien que nous puissions argumenter que la semence de sorgho n'est typiquement pas considérée comme un intrant acheté de la même manière que les engrais ou les herbicides, les dotations affectent également l'accès aux informations et les connaissances sur les nouveaux types de semences. Le réseau commercial s'étend aux marchés hebdomadaires organisés dans les villages. Nous intégrons une variable muette pour représenter le marché hebdomadaire du village de l'EAF.

Au Mali, l'accès aux structures d'encadrement remplace, en quelque sorte, les marchés commerciaux, influençant l'accès du paysan aux intrants et services de toute sorte, y compris les engrais subventionnés. Pour exprimer l'encadrement, nous intégrons une variable qui mesure le pourcentage de tous les gérants de parcelle du village membres d'une coopérative agricole enregistrée.

Enfin, comme décrit plus haut, nous reconnaissons l'organisation sociale de la production dans cette région du Mali et rajoutons les caractéristiques du gérant de la parcelle (son niveau d'instruction, si la parcelle est gérée par une personne autre que le chef d'exploitation, s'il s'agit de l'épouse ou du fils du chef d'exploitation) parmi nos variables explicatives. Le Tableau 1 montre les définitions et moyennes de nos variables indépendantes dans le modèle Logit ordonné, regroupées en termes de gérant de parcelle, parcelle, ménage et facteurs commerciaux (Tableau 1).

L'objectif du modèle d'impact est de quantifier les résultats potentiels qui expriment les changements dans l'offre de sorgho à une EAF et les modèles de consommation de l'EAF associés à ces changements. Pour les rendements, nous spécifions le modèle d'effets fixes :

$$\text{rendement} = \alpha + \beta t' \text{outcomecovar} + \Theta t' \text{treatmentcovar} + \mu, \quad (2)$$

où rendement représente le rendement de sorgho en kg/ha, et *outcomecovar* est un vecteur des intrants agricoles appliqués sur les parcelles de sorgho. Correspondant à une fonction de réponse notionnelle de rendement, nous intégrons les quantités d'intrants par ha (semence, main d'œuvre adulte masculine, main d'œuvre adulte féminine, main d'œuvre des enfants,

engrais), ainsi que les caractéristiques de la parcelle (trajet en minutes de la maison à la parcelle ; si une structure a été aménagée sur la parcelle pour pallier à l'érosion des sols et l'érosion hydrique). *Treatmentcovar* est un vecteur des mêmes covariables du gérant de la parcelle qui sont incluses dans l'analyse de l'adoption (à l'exception de la gestion individuelle; les régressions n'ont pas convergé avec cette covariable). Les variables de contrôle du modèle d'impact sont indiquées dans le Tableau 2.

Pour les résultats de la consommation, en appliquant la base conceptuelle du ménage agricole, nous considérons que les facteurs pertinents comprennent à la fois ceux liés à l'offre et ceux affectant les résultats à travers une contrainte de dépenses. Nous spécifions un modèle d'effets fixes comprenant les aspects de fonction de production du modèle de rendement (le résultat de l'offre) et rajoutant les covariables susceptibles de conditionner la consommation compte tenu de la quantité produite. Il s'agit de la taille du ménage, des transferts de fonds effectués par les membres du ménage absents (revenus exogènes) ainsi que des avoirs du ménage et de la présence de marché hebdomadaire au village qui affecte les coûts de transactions de l'achat de biens de consommation. Les résultats de consommation sont définis comme la diversité alimentaire, la part de sorgho dans la consommation de céréales du ménage et la part de la récolte de sorgho vendue.

Les définitions des variables de résultat sont indiquées dans le Tableau 3. Un point particulièrement intéressant est le calcul du score de diversité alimentaire des ménages (SDAM) qui représente le décompte des différents groupes d'aliments consommés par le ménage pendant les 7 jours précédant l'enquête (Swindale et Bilinsky 2005). L'EAF reçoit un score de 1 pour chaque groupe d'aliments consommé au moins une fois, 0 sinon. Le SDAM est la somme de tous les scores. Avec dix groupes, l'intervalle hypothétique de cet indicateur est de 1 à 10. Le SDAM, qui comprend la fréquence de consommation, majore le score afin de mieux saisir le nombre de fois que le groupe d'aliments est consommé (Arimond et Ruel 2002a,b). Pour chaque groupe d'aliments, l'EAF reçoit un score de 0 pour les fréquences inférieures à quatre fois par semaine, de 1 pour les fréquences de quatre à six fois (inclusives) par semaine et de 2 pour les fréquences de sept fois ou plus. Avec dix groupes, l'intervalle hypothétique de la somme est de 1 à 20.

Le Tableau 3 montre également les différences dans les moyennes de chaque variable de résultat par traitement. Sans tenir compte des autres facteurs, les rendements et la diversité alimentaire semblent augmenter avec le statut d'amélioration des variétés de sorgho. En tenant compte des mêmes réserves, la part du sorgho dans la consommation de céréales semble baisser avec l'adoption des variétés améliorées et des hybrides alors que la part vendue augmente. ce sont les hypothèses que nous faisons pour l'estimation.

Dans le prochain chapitre, nous commençons par quelques statistiques descriptives sur nos covariables, suivies d'une présentation et d'une interprétation des résultats de la régression.

## **IV. Résultats**

### **Statistiques descriptives**

Les comparaisons des pourcentages d'adoption des semences améliorées et hybrides par type de caractéristiques de gestion de la parcelle sont présentées dans les tableaux 4 et 5. Sur la base des statistiques bivariées, les taux d'adoption diffèrent faiblement (à environ 10%) par sexe du gérant de la parcelle, les taux étant légèrement plus élevés chez les femmes (45% v. 39%). La même tendance est reproduite lorsqu'on compare toutes les parcelles de sorgho

communes à celles individuelles puisque la plupart d'entre elles sont gérées par des chefs d'exploitation ou des personnes qui le représentent (parmi lesquelles il n'y a que deux femmes) et la plupart des parcelles individuelles sont gérées par des femmes. Les tendances d'utilisation, qui ne sont pas indiquées mais qui sont visibles dans les données sous-jacentes, sont presque identiques entre les parcelles collectives gérées par le chef d'exploitation ou la personne le représentant, un peu moins de 40% de ces parcelles étant emblavées en variétés améliorées ou en sorghos hybrides pendant la principale saison agricole 2014.

Plusieurs considérations peuvent expliquer ces résultats quelque peu surprenants. Dans notre stratégie d'échantillonnage, nous avons sélectionné les ménages qui avaient adopté les hybrides en 2013 afin de les interviewer à nouveau en 2014 car ils étaient « rares » pendant la phase pilote de développement et de diffusion des semences hybrides. Nous avons intentionnellement sélectionné les parcelles de sorgho gérées par des femmes bien que le choix de la semence n'était pas un critère d'échantillonnage au niveau de la parcelle et n'explique, donc, pas en lui-même le résultat. Comme partie de la stratégie actuelle de communication du programme national d'amélioration du sorgho, les femmes, outre les hommes du ménage, ont été ciblées en reconnaissance de leurs rôles dans la production de sorgho. Mais toujours est-il que le résultat, selon lequel l'utilisation de semences améliorées est au moins aussi élevée (si non légèrement plus élevée) sur les parcelles individuelles et notamment celles gérées par les femmes, suggère que la semence améliorée est clairement distribuée entre les gérants de parcelles de manière assez équitable. Ceci n'est pas surprenant puisque la disponibilité de la semence de sorgho n'est généralement pas une contrainte pour les EAF retenues ici dans notre étude à moins qu'elle ne soit achetée ou nouvellement introduite. Relativement parlant, la semence est un intrant très divisible caractérisé par un coût relativement faible et facile à transporter contrairement à l'engrais. Culturellement, le droit à la semence constitue toujours une norme importante. En outre, le sorgho est un aliment de base. Les travaux qualitatifs dans cette région ont souligné le fait que les femmes cultivent de plus en plus de sorgho dans leurs champs individuels, en l'associant souvent avec d'autres plantes qu'elles cultivaient avant (telles que les légumineuses) afin de compléter la nourriture de la famille. Dans certaines zones, des groupes de femmes cultivent la plante pour générer des revenus supplémentaires en dehors de l'EAF (Eva Weltzien, comm. pers. Le 10 avril 2016).

De même, les données du tableau 5 indiquent que la probabilité de cultiver des variétés améliorées est légèrement plus grande pour l'épouse du chef d'exploitation que pour les autres membres de la famille qui gèrent les parcelles de sorgho (valeur p de 7%; aucune différence avec le fils du chef à cet égard). En rappelant notre description de l'organisation de l'EAF, ce résultat suggère tout juste que la famille immédiate du chef d'exploitation, par rapport aux autres membres de la famille élargie, a plus de chances d'obtenir des semences auprès de ce dernier d'abord ou d'être ciblée par les représentants du programme ou projet. En consultant les données, il est plus probable que l'épouse qui cultive des semences améliorées soit la première épouse, celle la plus âgée du chef d'exploitation. Ainsi, dans notre modèle d'adoption, nous utilisons « l'épouse » et « le fils » du chef d'exploitation comme déterminants de l'adoption et de l'impact plutôt que le sexe du gérant de la parcelle.

Comme prévu, l'éducation primaire du gérant de la parcelle joue un rôle important dans l'adoption de semences hybrides comme indiqué dans le tableau 6. Malgré le fait que les informations sur la variété soient transmises de bouche à oreille, en général, l'éducation primaire renforce l'intérêt pour les informations et services et l'accès à ces derniers, appuyant ainsi l'innovation. Le statut d'amélioration de la variété de sorgho cultivée sur la parcelle augmente la probabilité que le gérant de parcelle ait un niveau d'éducation primaire. Nous



nous attendons à ce que la capacité à écrire et à lire affecte fortement la réceptivité et l'accès aux nouvelles informations, techniques ou technologies. Les gérants de parcelle ont indiqué qu'en moyenne, ils avaient cultivé les variétés locales emblavées dans leurs champs pendant 11 ans par rapport à 9 ans pour les variétés améliorées et 3 ans pour les hybrides. La différence entre la longévité des variétés locales et des variétés améliorées n'est pas particulièrement significative, confirmant que la semence de ces deux types de variétés est diffusée largement d'un paysan à l'autre après avoir été initialement introduite.

Toutes les parcelles de sorgho sont arrosées à l'eau de pluie. Presque, toutes ont été emblavées la saison précédente (97% au total) et ceci n'a pas varié en fonction des variétés cultivées. Plus de la moitié (53%) de celles cultivées l'année précédente étaient emblavées en sorgho mettant en évidence le fait que cette plante a été continuellement cultivée. Dans environ un quart des parcelles, le sorgho était associé à d'autres cultures et lorsque le sorgho était la principale culture, la culture associée la plus courante dans les parcelles, gérées par les hommes et les femmes, était le niébé. Chez les femmes gérantes de parcelles, dans leur ensemble, le sorgho est le plus souvent associé à l'arachide comme principale culture.

Les distances moyennes de la maison à la parcelle semblent varier significativement par type de variété de sorgho. Bien que les types de sol, indiqués par les paysans, ne semblent pas varier par type de variété, et que le statut d'amélioration de la semence était négativement corrélé à la présence sur la parcelle de structures de conservation du sol et de l'eau, lorsque les variétés améliorées et hybridées sont pris ensemble, les différences ne sont pas significatives par type de variété (Tableau 7). La présence sur les parcelles de structures de lutte contre l'érosion reflète typiquement plus la pente de la terre et les efforts de diffusion des coopératives formelles plutôt que le type de variété (Eva Weltzien, pers. comm. April 10, 2016).

Dans le tableau 8, nous présentons les caractéristiques du ménage qui, selon nos attentes, sont étroitement liées à l'adoption de nouvelles techniques, technologies et variétés de semences. Malgré le petit nombre de producteurs d'hybrides en 2013 (45 EAF), nous voyons clairement qu'ils sont plus riches en termes de valeur totale des actifs et, jouissent d'un plus grand nombre d'adultes économiquement actifs par ménage (2 adultes de plus). Ainsi, elles sont relativement avantagées en termes de dotations financières et en capital humain. Ces résultats sont souvent rapportés par la littérature plus vaste sur l'adoption de technologies agricoles (Feder, Just et Zilberman 1985; Feder et Umali 1993; Foster et Rosensweig 2010). Pour ce qui est du crédit et d'autres services, l'encadrement du village du gérant de la parcelle (appartenance à une coopérative agricole organisée) est plus important chez ceux qui cultivent les variétés de sorgho hybrides mais l'opposé est vrai pour ceux qui cultivent d'autres variétés améliorées. Ce résultat suggère la diffusion de variétés améliorées plus anciennes d'un paysan à l'autre, au-delà des points initiaux d'introduction des programmes gouvernementaux. Le programme national de sorgho a commencé à diffuser les variétés améliorées dans les villages retenus pour l'étude dès 2001 et celles-ci prédominaient dans la diffusion jusqu'à 2015. D'un autre côté, il n'y a pas de relation évidente entre le fait qu'il y ait ou non un marché hebdomadaire dans le village et l'utilisation de la semence par les gérants de parcelle du même village.

### **Régression Logit ordonnée**

Le modèle de régression Logit ordonnée, qui explique l'adoption de variétés de sorgho par statut d'amélioration, est présenté dans le tableau 9. Les effets marginaux sont présentés dans l'Annexe. Les résultats multivariés sont globalement cohérents avec résultats bivariés.

Les caractéristiques du gérant de la parcelle qui reflètent l'organisation sociale de l'agriculture dans cette région du Mali sont les principaux déterminants de l'adoption de variétés dans la production de sorgho. Ces caractéristiques ne sont souvent pas prises en compte dans les études d'adoption qui d'habitude sont focalisées sur celles du ménage. La gestion individuelle d'une parcelle, par rapport à la gestion collective, réduit la probabilité que les variétés améliorées de sorgho soient cultivées. En contrôlant par ce facteur, la gestion par l'épouse du chef d'exploitation augmente les chances que les variétés améliorées, et notamment les hybrides soient cultivées sur la parcelle ; l'effet de la gestion par le fils est également significatif mais plus faible en termes de magnitude et de signification statistique. Le niveau d'éducation primaire du gérant de la parcelle est fortement significatif pour l'adoption des variétés améliorées et l'est encore plus pour les hybrides de sorgho. Alors que l'emplacement géographique ne semble pas jouer un grand rôle, les structures de contrôle de l'érosion sur la parcelle (cordons pierreux, diguettes, ceinture d'arbres) sont négativement liées au statut d'amélioration. Les hybrides ont été introduites plus récemment ; le temps moyen qui s'est écoulé depuis la construction initiale de cordons pierreux sur les parcelles de sorgho dans l'échantillon est de 10 ans. En outre, quand les femmes gérantes de notre échantillon cultivent des hybrides, elles sont moins susceptibles de disposer de structures de lutte contre l'érosion dans leurs parcelles plus petites. Comme dans la littérature relative à l'adoption, les dotations en capitaux (richesses et offre de main d'œuvre du ménage) sont fortement significatives dans la prévision de l'utilisation des variétés améliorées de sorgho.

D'autre part, ni le niveau d'appartenance à une coopérative agricole enregistrée des gérants de parcelle du village ni la présence d'un marché hebdomadaire dans le village ne semblent influencer la probabilité que les variétés améliorées de sorgho soient cultivées sur la parcelle. L'explication du premier résultat est que les coopératives enregistrées sont principalement des voies de distribution des intrants et de mise à disposition de services liés à la production de coton qui comprennent également les semences de maïs mais pas celles de sorgho. Les subventions d'engrais, bien qu'étant facilitées par les coopératives, ont également été facilité par des autres associations et sont, en principe, à la disposition des producteurs de sorgho même si leur niveau est faible (Thériault et al. 2015). La semence de sorgho améliorée a été introduite occasionnellement par les organisations et programmes externes mais directement et indirectement par le canal des associations de producteurs. Cependant, la diffusion s'est faite principalement entre paysans membres d'associations de producteurs mais pas exclusivement. Concernant le marché local, une petite quantité de semences de sorgho cultivées par les paysans dans cette région passe toujours par les marchés commerciaux et les négociants agricoles malgré les efforts des donateurs visant à stimuler le développement de marché de semences (Haggblade et al. 2015).

### **Modèles d'effets de traitement multivarié**

Les estimations d'effets de traitement moyen, exprimées en moyennes et pourcentages, sont indiquées pour tous les résultats et les trois approches de modélisation dans le Tableau 10. En termes d'effets significatifs, les résultats sont, généralement mais pas toujours, cohérents d'un modèle à l'autre. Des trois modèles, l'AIPW et l'IPWRA devraient être « doublement robustes » et plus efficaces.

Les signes et la signification statistique diffèrent par résultat et par statut d'amélioration. Les effets de rendements sont fortement significatifs et leur magnitude est relativement grande pour les hybrides de sorgho mais pas pour les variétés améliorées par rapport aux variétés locales. Les augmentations de rendement sont de 479 à 1055 kg/ha, selon le modèle, ce qui représente 79% à 180% de la moyenne des variétés locales cultivées par les paysans (Tableau

10). Ce résultat confirme ceux rapportés par Rattunde et al. (2013), générés par les essais en champs. Le fait que les gains de rendement de 34-35%, obtenus pour les variétés améliorées, ne soient pas statistiquement significatives pourrait refléter soit la variabilité sous-jacente des rendements, dans les conditions auxquelles les agriculteurs sont soumis pour cette catégorie hétérogène soit les introductions plus anciennes et plus récentes.

L'ATE sur le score de diversité alimentaire des ménages (SDAM) n'est statistiquement significatif dans aucun des trois modèles, indiquant que des rendements de sorgho plus élevés ne se traduisent pas par un plus large éventail de groupes d'aliments consommés lorsque mesurés comme un simple décompte. Cependant, lorsque la fréquence de la consommation est prise en compte, il y a un impact sur la diversité alimentaire important et significatif pour les producteurs d'hybrides (et une augmentation du score de 7-8% dans les modèles AIPW et IPWRA).

L'impact des variétés améliorées ou d'hybrides de sorgho sur la part de sorgho dans les céréales consommées est négatif quel que soit l'un ou l'autre type de mesure (semaines avant l'enquête ou récoltes). Des rendements plus élevés entraînent une capacité à libérer des terres pour d'autres céréales ou à utiliser les recettes de ventes pour leur achat ou celui d'autres aliments. Dans ces villages, le maïs est à la fois cultivé et consommé plus que dans le passé. Concordant avec ces points, l'impact de la culture des variétés améliorées est positif sur la part des autres céréales consommées. L'effet n'était pas apparent pour les hybrides mais de petites superficies ont été emblavées et elles ont fait l'objet d'une adoption plus récente. Parallèlement, la part des récoltes de sorgho vendues a augmenté de 10 à 14% selon les modèles. Ainsi, la culture des variétés améliorées ou d'hybrides de sorgho contribue, ainsi, à la commercialisation d'une culture alimentaire pour laquelle aucun réseau commercial n'a été développé. En supposant un prix du consommateur de 150 FCFA pendant les périodes de disette et 90 FCFA comme prix de vente juste après la récolte, les variétés améliorées et hybrides (combinées) donnent aux paysans la possibilité d'augmenter leurs recettes de vente de 4644 à 7740 FCFA et de 6500 FCFA à 10 836 FCFA selon le modèle.

## **V. Conclusions**

Dans cette analyse, nous avons contribué à une littérature éparses sur l'adoption et les impacts des variétés améliorées de sorgho au Mali, dont les premières variétés de sorgho hybrides développées et lancées par le programme national qui sont basées sur le germoplasme de race guinéenne et développées avec des essais participatifs en champs. D'abord, nous avons utilisé le modèle Logit ordonné pour identifier les déterminants de l'adoption qui nous ont permis de faire la distinction entre trois types ordonnés de variétés améliorées: locales (0), améliorées (1), et hybrides (2). En tenant compte de l'organisation sociale de la production de sorgho dans la Savane soudanienne du Mali, nous avons testé, dans nos régressions, la signification statistique des caractéristiques du gérant de la parcelle et de celles de la parcelle, du ménage et du marché. Ensuite, nous avons appliqué la méthode d'effet de traitement multivarié pour évaluer l'impact de l'adoption de variétés de sorgho et d'hybrides de sorgho sur les familles rurales. En termes de résultats, nous avons évalué à la fois les résultats d'offre (rendement) et les résultats de consommation (diversité alimentaire, part du sorgho dans la consommation et les ventes). Pour garantir la robustesse de nos résultats, nous avons appliqué trois modèles statistiques.

Nos données montrent également que l'adoption varie entre les parcelles communes et les parcelles individuelles. La plupart des parcelles de sorgho individuelles de notre base de données sont gérées par les femmes qui ont cultivé le sorgho en association avec l'arachide

et le niébé ; les hommes gérants de parcelles individuelles avaient tendance à cultiver des cultures de rente telles que le coton ou le maïs, qui ne sont pas analysés ici. On constate une utilisation continue de terres avec le sorgho pour plus de la moitié des parcelles étudiées. La culture des hybrides est négativement corrélée aux techniques de conservation des sols et de l'eau, sans doute parce que ces techniques sont plus susceptibles d'être appliquées dans des champs communs plus anciens ayant été continuellement cultivées pour une période plus longue et ayant reçu l'attention des anciens programmes proposés par les coopératives. Les parcelles de sorgho gérées par les femmes, qui sont plus petites et où des légumineuses y sont associées, ne sont également pas susceptibles d'accueillir des structures de conservation du sol et de l'eau (SWC) (1%). Une probabilité plus faible de pratiques SWC sur les parcelles de céréales gérées par les femmes a également été rapportée par Thériault et al. (2016) sur la base d'une analyse des données provenant du Burkina Faso. Concordant avec une vaste littérature sur le thème, les premiers adoptants des nouvelles techniques (dans notre cas, les hybrides de sorgho) sont plus riches en termes de ressources et de capital humain (main d'œuvre du ménage disponible, niveau d'instruction du gérant de la parcelle).

Les résultats bivariés étaient généralement corroborés par le modèle de régression Logit ordonné. Le niveau d'éducation primaire du gérant de la parcelle constituait un facteur significatif ainsi que les dotations en capital et l'inexistence de structures de lutte contre l'érosion des sols sur la parcelle. Notre analyse a également trouvé que l'appartenance à une coopérative ou la présence d'un marché hebdomadaire dans le village n'a aucun effet sur l'adoption de variétés de sorgho car les coopératives facilitent principalement l'accès aux engrais et à d'autres services à ses membres. La gestion de la parcelle par des personnes autres que le chef d'exploitation, notamment la première épouse, est positivement liée à l'utilisation d'hybrides. Ce résultat peut simplement refléter la conception de notre échantillon et la reconnaissance récente, par le programme de sorgho, du rôle des femmes dans la production de sorgho. Il confirme également la notion selon laquelle les innovations sont généralement introduites dans ces familles élargies par le biais du chef d'exploitation et sont ultérieurement adoptées par les autres membres de la famille.

Le modèle d'effet de traitement multivaré montre que les effets de rendement sont fortement significatifs et leur amplitude est relativement grande pour les hybrides de sorgho mais non pour les variétés améliorées par rapport aux variétés locales. Les gains de rendements varient entre 479 et 1055 kg/ha, selon le modèle, ce qui représente 79% à 180% de la moyenne des variétés locales cultivées par les paysans. Lorsque la fréquence de la consommation est prise en compte, la culture des hybrides a un effet important et significatif sur le score de diversité alimentaire des ménages (SDAM) et il y a un impact sur la diversité alimentaire qui est important et significatif pour les producteurs d'hybrides (et une amélioration du score de 7 à 8% dans les modèles AIPW et IPWRA). L'impact de la culture des variétés améliorées ou des hybrides de sorgho sur la part des céréales consommées est négatif quelle que soit la mesure utilisée (semaines avant l'enquête ou récolte). L'impact de la culture des variétés améliorées est positif sur la part des autres céréales consommées. Parallèlement, la part des récoltes de sorgho vendu a augmenté de 10 à 14% selon le modèle.

## **VI. Implications pour l'élaboration de politiques ou les futurs travaux de recherche**

Les analyses présentées ici nous permettent de tirer plusieurs implications de la pertinence des politiques nationales au Mali. D'abord, nous trouvons que l'adoption de variétés améliorées de sorgho est légèrement plus élevée dans les parcelles individuelles que dans les parcelles communes (45% vs. 39%, respectivement), bien que l'effet soit statistiquement faible. Dans notre zone d'étude, beaucoup de femmes cultivent de plus en plus de sorgho sur

les parcelles individuelles qu'elles gèrent afin de répondre aux besoins nutritionnelles de leurs enfants et de prendre en charge les frais d'habillement, de scolarité et de soins médicaux. Toute politique visant à promouvoir le développement et la diffusion de variétés améliorées de sorgho (notamment les hybrides) doit maintenant reconnaître le rôle potentiel des femmes membres de l'exploitation agricole familiale dans la production du sorgho. Cette tendance constitue clairement un changement dans les normes culturelles, la sagesse traditionnelle ayant toujours été que les femmes n'étaient pas impliquées dans la production de sorgho en dehors des champs communs de la famille.

Deuxièmement, généralement parlant, les caractéristiques du gérant de la parcelle, en plus de celles de la parcelle et du ménage, constituent des déterminants robustes de l'adoption de la variété améliorée et de l'hybride dans la production de sorgho. Pour encourager des taux d'adoption plus élevés, nos résultats indiquent que les réseaux d'introduction de la semence et des intrants complémentaires tels que les engrais doivent non seulement intégrer le chef d'exploitation mais également tous les membres économiquement actifs de l'EAF. Le rôle des femmes plus âgées dans l'EAF est considéré comme étant important dans notre échantillon, reflétant une combinaison de facteurs dont l'effort consenti par le programme de sorgho pour garantir que les femmes contribuent et bénéficient de programmes d'essais de variétés et aux activités connexes.

L'accès au marché et aux coopératives ne semble pas être aussi important bien que cela puisse changer au fur et à mesure que la production de sorgho est commercialisée. En outre, ces canaux doivent être mieux structurés et bien appuyés par les services d'information. Il est encore nécessaire d'apporter des améliorations majeures afin de faciliter la production et la vaste diffusion du sorgho amélioré auprès des paysans dispersés. Les décideurs doivent être réalistes dans leurs attentes par rapport au degré et à la forme de l'intérêt du secteur privé pour l'offre de semences de sorgho aux paysans ; les modèles parapublics et les moyens décentralisés d'approvisionnement en semences des zones plus isolées, à travers les associations de producteurs de semences, semblent constituer un modèle possible dans les régions où les coopératives formelles sont inactives (Koulibaly et al. 2014; Haggblade et al. 2015).

Troisièmement, l'analyse d'impact confirme les principaux impacts de rendement des semences hybrides, tels que ceux rapportés dans les résultats précédemment publiés sur la base de données provenant d'essais en champs. Nous observons également un impact sur la diversité alimentaire des ménages lorsque la fréquence de consommation est prise en compte. Nous voyons que la part des récoltes vendues augmente lorsque les hybrides sont cultivées, suggérant que les ménages ont le choix d'étendre leurs achats destinés à la consommation. Lorsque les rendements augmentent, les terres peuvent être libérées pour la production d'autres cultures (bien que nous ne puissions pas confirmer cette tendance dans une saison d'enquête). De cette manière, la production d'hybrides pourrait contribuer à une orientation plus commerciale de la production pour certains paysans. Afin de faciliter la multiplication des rendements et des avantages de revenus plus largement chez les petits producteurs de sorgho maliens, les contraintes à la multiplication, la production et la distribution de semences d'hybrides doivent être résolues. Au moment où ces données ont été collectées et analysées, les hybrides de sorgho n'avaient été introduites que sur la base d'un projet pilote dans la Savane soudanienne.

Pour ce qui est des aspects techniques des futurs travaux de recherche, une calibration plus poussée des résultats avec des données détaillées sur les sols, dans le modèle de résultats de rendements, et des mesures approfondies de la diversité alimentaire, dans le modèle de

consommation, pourrait s'avérer instructive. Une analyse de sensibilité sur les résultats du modèle pourrait permettre de comprendre les valeurs élevées que nous avons obtenues dans certains modèles de rendement. Comme autre contrôle de robustesse des résultats, il serait utile de tester les impacts binaires en tenant compte de deux catégories d'amélioration à la fois.

Plus important encore, s'agissant des questions de fonds, il conviendra de tester les résultats d'impacts dans d'autres régions pour l'élaboration de politiques nationales. Si les résultats relatifs au sexe du gérant de la parcelle sont confirmés dans d'autres études, cela soulignerait la nécessité de revoir la conception des approches conventionnelles de vulgarisation.

## Références

- AGRA-PASS. 2010. Mid-Term Review of the Program for Africa's Seed Systems: Mali. Mimeo. Nairobi: Alliances for a Green Revolution in Africa.
- Arimond et Ruel 2002a. Progress in Developing an infant and child feeding index: An Example from the Ethiopia Demographic and Health Survey 2000. Food Consumption and Nutrition Division Discussion Paper. Washington (DC): Institut International de Recherche sur les Politiques Alimentaires.
- Arimond et Ruel 2002b. Dietary diversity is associated with child nutritional status: evidence from 11 demographic and health surveys. *J. Nutr.* 134 (10), 2579–2585.
- Barro-Kondombo, C.P., K. vom Brocke, J. Chatereau, F. Sagnard, et J.D. Zongo. 2008. Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions du Burkina-Faso: La Boucle du Mouhoun et le Centre-Ouest. *Cahiers Agricultures* 17(2): 107-113.
- Bazile, D. 2006. State-farmer partnerships for seed diversity in Mali. Londres: IIED (Gatekeeper Series 127).
- Cattaneo. 2010. Efficient semiparametric estimation of multi-valued treatment effects under ignorability. *Journal of Econometrics* 155 (2010) 138\_154
- Coulibaly, H. ; D. Bazile ; A. Sidibé et G. Abrami, 2014. Les systèmes d'approvisionnement en semences de mils et sorghos au Mali: production, diffusion et conservation des variétés en milieu paysan. *AGRIDAPE* 30 (1): Mars, 14-15.
- Diakité, L., A. Sidibé, M. Smale, et M. Grum. 2008. Seed value chains for sorghum and millet in Mali: a state-based system in transition. IFPRI Discussion Paper No. 749, Division Environnement et Technologie de Production, Institut International de Recherche sur les Politiques Alimentaires (IFPRI), Washington, D.C.
- Diakité, L. 2009. Evaluation Stratégique des Capacités de développement et d'Adoption des Technologies de GCP Mali. Rapport provisoire. ECOFIL/IER, Bamako, Mali.
- Dalton, Timothy J. et Zereyesus, Yacob A., "Economic Impact Assessment of Sorghum, Millet and Other Grains CRSP: Sorghum and Millet Germplasm Development Research" (2013). INTSORMIL Scientific Publications Paper 20. <http://digitalcommons.unl.edu/intormilpubs/20>.
- Evenson, R. E., & Gollin, D. (Eds.). (2003). Crop variety improvement and its effects on productivity. Wallingford: CABI.
- FAOSTAT. Accédé le 3 juin 2016 à l'adresse suivante <http://faostat.fao.org/>.
- Feder, G. et D. Umali. 1993. The Adoption of agricultural innovations: a review. *Technological Forecasting and Social Change* 43: 215-239.
- Feder, G., R.E. Just, et D. Zilberman. 1985. Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: A Survey. *Economic Development and Cultural Change* 33(2): 255-298.
- Foster, A. et Rosenzweig, M. 1995. Learning by doing and learning from others: human capital and technical change in agriculture. *Journal of Political Economy* 103: 1176-1209.
- Haggblade, S., B. Diallo, M. Smale, L. Diakité, et B. Teme. 2015. Revue du Système Semencier au Mali. Document de Travail No. Mali-2015-3. Laboratoire d'Innovation FSP. East Lansing, Michigan State University.
- Hausman, B.I.G., H.F. Rattunde, E. Weltzien-Rattunde, P.S.C. Traoré, K. vom Brocke, et H.K. Parzies. 2012. Breeding strategies for adaptation of Pearl millet and sorghum to climate variability and change in West Africa. *Journal of Agronomy and Crop Science* 198: 327-339.
- House, L.R., B.N. Verma, G. Ejeta, B.S. Rana, I. Kapran, A.B. Obilana, et B.V.S. Reddy. 1997. Developing countries breeding and potential of hybrid sorghum. Dans: *Compte-*

- rendu de la Conférence Internationale sur l'amélioration génétique du sorgho et du petit mil, Lubbock, Texas. 23–27 Sept. 1996.
- Imbens and Wooldridge .2009. *Recent Developments in the Econometrics of Program Evaluation*
- Kelly, V., L. Diakité, et B. Témé. 2015. *Sorghum Productivity in Mali : Past, Present and Future*. International Development Working Paper 138. East Lansing, MI: Michigan State University, Department of Agricultural, Food and Resource Economics.
- Matlon, P.J. 1985. A Critical Review of Objectives, Methods, and Progress to Date in Sorghum and Millet Improvement: Case Study of ICRISAT/Burkina Faso. In *Appropriate Technologies for Farmers in Semi-Arid West Africa*, ed. Herbert W. Ohm and Joseph G. Nagy. West Lafayette, IN: Purdue University.
- Matlon, P.J. 1990. *Improving Productivity in Sorghum and Pearl Millet in Semi-Arid Africa*. Food Research Institute Studies Volume 22.1. Stanford, CA: Stanford University <http://purl.umn.edu/136098>.
- Ndjeunga, J., C.T. Hash, I. Faye, M. Sanogo, C. A. Echekwu, et al. 2012. *Assessing the Effectiveness of Agricultural R&D in West Africa: Cases of Pearl Millet, Sorghum and Groundnut Crop Improvement Programs*. Niamey, Niger: ICRISAT.
- Olsen, K.M. 2012. One gene's shattering effects. *Nature Genetics* 44(6): 616-617.
- Rattunde, H.F.W., E. Weltzien, B. Diallo, A.G. Diallo, M. Sidibé, A.O. Touré, A. Rathore, R.R. Das, W.L. Leiser, et Al. Touré. 2013. Yield of photoperiod-sensitive sorghum hybrids based on Guinea-race germplasm under farmers' field conditions in Mali. *Crop Science* 53 (Novembre-Décembre): 1-8.
- Rubin .1974. Estimating Causal Effects of Treatments in Randomized and Nonrandomized Studies." *Journal of Educational Psychology*, 66(5):688–701.
- Rattunde, H.F.W., A. Sidibé, K. vom Brocke, A. Diallo, E. Weltzien, B. Nebié 2014. *Semences hybrides de sorgho : Hybrides de sorgho et méthodologie pour la production de leurs semences*. Bamako, Mali : Centre International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-Arides (ICRISAT), Institut d'Économie Rurale (IER), Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD).
- Siart, S. 2008. *Strengthening local seed systems: Options for enhancing diffusion of variety diversity of sorghum in Southern Mali*. Margraf Publishers, GmbH, Scientific books.
- Sanogo, O. et Teme B. 1996. Impact Assessment of On-farm Trials Conducted at the Cinzana Research Station. In *Partners in Impact Assessment: Summary Proceedings of the ICRISAT/NARS Workshop on Methods and Joint Impact Targets in Western and Central Africa*.
- Singh,I., L. Squire, et J. Strauss. 1986. *Agricultural Household Models: Extensions, Applications, and Policy*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Smale, M., Diakité, L., et Grum, M. 2010. When grain markets supply seed: Village markets for millet and sorghum in the Malian Sahel. In L. Lipper, C.L. Anderson and T. Dalton (eds.), *Seed trade in rural markets: Implications for crop diversity and agricultural development* (pp. 53-74). Sterling, VA: Earthscan.
- Sperling, L., Weltzien, E., Sangaré, M.B., Shines, J.Sc., Salla Boré, S., Bamba, A. , Traoré, C., Keita, C.O. , Ag Hamada, M., Ballo, M. , Sangaré, F. , Kanouté, M., Sanogo, B. , Guindo, H. , Konta, B., Sanogo, S., Traoré, A., Loeffen, M., et Dembélé, A. (2006) 'Seed system security assessment (SSSA), Douentza, northern Mali', Final report. Catholic Relief Services, Mali, and Partners, Bamako, Mali.
- Swindale et Bilinsky. 2005. *Household Dietary Diversity Score (HDDS) for Measurement of Household Food Access: Indicator Guide*.



- Thériault, V. A. Kerna, A. Traoré, B. Teme and M. Smale 2015. Revue de la Structure et de la Performance de la Filière Engrais au Mali. Document de Travail No. Mali-2015-2. Laboratoire d'Innovation FSP. East Lansing, Michigan State University.
- Thériault, V., M. Smale and H. Haider. 2016. Gender Differences in the Adoption of Cereal Intensification Strategy Sets in Burkina Faso. International Development Working Paper # 141. Michigan State University, East Lansing, Michigan.

**Tableau 1. Variables explicatives du modèle d'adoption, définitions et moyennes**

Variable explicative	Définition
<i>caractéristiques du gérant de la parcelle</i>	
gérée individuellement	Parcelle gérée individuellement par un homme ou une femme qui n'est pas chef d'EAF ni représentant de ce dernier =1, 0 à défaut
niveau d'instruction	gérant de la parcelle ayant fait l'école primaire=1, 0 à défaut
Epouse	gérant de la parcelle épouse du chef d'exploitation =1, 0 à défaut
Fils	gérant de la parcelle fils du chef d'exploitation =1, 0 à défaut
<i>caractéristiques de la parcelle</i>	
Emplacement	durée du trajet de la maison à la parcelle en minutes
lutte contre l'érosion	toute structure de lutte contre l'érosion aménagée sur la parcelle=1, 0 à défaut
<i>caractéristiques du ménage</i>	
Ressources	Valeur totale des ressources du ménage à l'exception du bétail (en FCFA)
main d'œuvre disponible	nombre d'adultes de l'EAF âgés de 12 à 55 ans (inclus)/superficie totale exploitée par l'EAF
<i>Caractéristiques du marché</i>	
Coopérative	pourcentage de gérants de parcelles du village membres de coopératives
Marché	marché hebdomadaire dans le village=1, 0 à défaut

Source: Auteurs.

**Tableau 2. Variables de contrôle du modèle d'impact, définitions et moyennes**

Control variable	Définition
<i>Intrants de production</i>	
Semence	quantité de semences utilisées
Engrais	total kg d'engrais appliqués
main d'œuvre masculine	nombre d'hommes, jours-personnes (14 ans et plus)
main d'œuvre féminine	nombre de femmes adultes, jours-personnes (14 ans et plus)
main d'œuvre des enfants	nombre d'enfants, jours-personnes (moins de 14 ans)
<i>caractéristiques de la parcelle</i>	
Emplacement	durée du trajet de la maison à la parcelle en minutes
lutte contre l'érosion	toute structure de lutte contre l'érosion aménagée sur la parcelle=1, 0 à défaut
<i>caractéristiques du gérant de la parcelle</i>	
niveau d'instruction	gérant de la parcelle ayant fait l'école primaire=1, 0 à défaut
Epouse	gérant de la parcelle épouse du chef d'exploitation =1, 0 à défaut
Fils	gérant de la parcelle fils du chef d'exploitation =1, 0 à défaut
<i>facteurs de consommation</i>	
Marché	marché hebdomadaire dans le village=1, 0 à défaut
taille du ménage	nombre de membres de l'EAF

Transferts de fonds	revenus provenant des membres du ménage absents transférés pendant les 12 mois précédents
Ressources	Valeurs totales des ressources du ménage à l'exception du bétail (en FCFA)

---

Source: Auteurs

**Tableau 3. Variables de résultat du modèle d'impact, définitions et moyennes, part traitement**

Résultat	Définition	Variété locale	Variété améliorée	Variété hybride
Rendement	Kg de sorgho récoltés/ha (GPS)	782.4	873.9	994.6
Sdam	Score de diversité alimentaire des ménages (SDAM); voir texte	7.44	7.47	7.78
Freqsdam	Score de diversité alimentaire des ménages (SDAM) avec fréquence de consommation; voir texte	11.8	11.8	12.7
part du sorgho	part de la valeur de sorgho en dépenses de consommations pendant les 7 jours précédant l'enquête	0.075	0.0841	0.00536
Part du sorgho1	part de la quantité de sorgho en céréales consommées pendant la saison agricole	0.38	0.322	0.364
Partcereal	Part de la valeur d'autres céréales en dépenses de consommation pendant les 7 jours précédant l'enquête	0.266	0.285	0.39
Partvendu	part de la valeur de sorgho récolté vendu	0.0591	0.113	0.179

Source: Auteurs. N=730 parcelles, 623 EAF.

**Tableau 4. Adoption de la variété de sorgho par type de gestion de parcelle**

	Variété de sorgho			Toutes les variétés
	Locale	Améliorée	Hybride	
Sexe du gérant de la parcelle				
Homme	328	174	36	538
	60.97	32.34	6.69	100
Femme	106	78	9	193
	54.92	40.41	4.66	100
Type de gestion				
Parcelle commune	322	171	36	529
	60.87	32.33	6.81	100
Parcelle individuelle	112	81	9	202
	55.45	40.1	4.46	100

Source: Auteurs. Pearson  $\chi^2(2) = 4.5083$  Pr = 0.105;  $4.5982$  Pr = 0.100

**Tableau 5. Adoption de variétés de sorgho, par lien de parenté du gérant de la parcelle avec le chef d'exploitation**

	Variété de sorgho			Toutes les variétés
	Locale	Améliorée	Hybride	
Autres membres de la famille				
	352	186	36	574
	61.32	32.4	6.27	100
Epouse du chef d'exploitation				
	82	66	9	157
	52.23	42.04	5.73	100
Total				
	434	252	45	731
	59.37	34.47	6.16	100
Pearson $\chi^2(2) = 5.0949$ Pr = 0.078				
	Locale	Améliorée	Hybride	Total
Autres membres de la famille				
	395	217	39	651
	60.68	33.33	5.99	100
Fils du chef d'exploitation				
	39	35	6	80
	48.75	43.75	7.5	100
Total				
	434	252	45	731
	59.37	34.47	6.16	100
Pearson $\chi^2(2) = 4.2128$ Pr = 0.122				

Source: Auteurs.

**Tableau 6. Adoption de variétés de sorgho par niveau d’instruction du gérant de la parcelle**

	A fait l’école primaire		Total
	Non	Oui	
Variété locale	388 89.4	46 10.6	434 100
Variété améliorée	195 77.38	57 22.62	252 100
Variété hybride	34 75.56	11 24.44	45 100
Total	617 84.4	114 15.6	731 100

Pearson chi2(2) = 20.3520 Pr = 0.000

**Tableau 7. Structure de lutte contre l’érosion aménagée sur la parcelle?**

	Non	Oui	Total
Locale	346 79.72	88 20.28	434 100
Améliorée	216 85.71	36 14.29	252 100
Hybride	42 93.33	3 6.67	45 100
Toutes les variétés de sorgho	604 82.63	127 17.37	731 100

Source: Auteurs. Pearson chi2(2) = 6.5960 Pr = 0.037

**Tableau 8. Adoption de variété de sorgho par ménage et caractéristiques du marché du village**

	Cultive des hybrides de sorgho			Cultive des variétés améliorées			
	Non	Oui	Valeur p	Non	Oui	Valeur p	
Valeur totale des ressources de l'EAF (ln)	13.9	14.3	0.0437	13.9	14.1	0.0221	
Nombre d'adultes de l'EAF actifs (12 à 55 ans)	8.80	10.5	0.0418	8.35	9.56	0.0032	
Proportion de gérants de la parcelle dans le village membres de coopératives	37.5	45.2	0.0428	40.1	32.9	0.0002	
Présence de marché hebdomadaire dans le village	Pas de marché	541	37	578	373	205	578
		93.6	6.4	100	64.53	35.47	100
	Marché	145	8	153	106	47	153
		94.77	5.23	100	69.28	30.72	100
Pearson chi2(1) = 0.2880 Pr = 0.592    Pearson chi2(1) = 1.2074 Pr = 0.272							

Source: Auteurs. Noter que le groupe de comparaison pour les producteurs d'hybrides dans ce tableau comprend à la fois les variétés améliorées et locales.

**Tableau 9. Modèle Logit ordonné qui explique l'adoption de variétés de sorgho**

	Statut d'amélioration
Gérées individuellement	-0.573* (0.327)
Epouse	0.882** (0.344)
Fils	0.407* (0.240)
Niveau d'instruction	0.878*** (0.204)
Emplacement	0.00207 (0.00363)
Lutte contre l'érosion	-0.475** (0.204)
Ressources	0.206*** (0.0785)
Main d'œuvre disponible	0.191** (0.0826)
Coopérative	-0.0147 (0.353)
Marché	-0.154 (0.197)
Constant cut1	3.605*** (1.143)
Constant cut2	6.049*** (1.148)
Observations	728

Ecarts-types robustes en parenthèses. \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Statut d'amélioration: 0=variété locale; 1=variété améliorée; 2=variété hybride



**Tableau 10. Effets de traitement moyen, par résultat et modèle**

		RA	AIPW MNL	IPWRA MNL
		Coef	Coef	Coef
Rendement	ATE			
	Améliorée	203.8	173.0	204.3
	Hybride	478.5**	779.4**	1054.8***
	% ATE			
	Améliorée	.3357052	.2275826	.3486967
Sdam	ATE			
	Améliorée	0.278	-0.0680	-0.0548
	Hybride	0.418	0.255	0.243
	% ATE			
	Améliorée	.0423875	-.0091213	-.0073566
Freqsdam	ATE			
	Améliorée	0.388	-0.0915	-0.0873
	Hybride	1.207	0.841**	0.903**
	% ATE			
	Améliorée	.0369894	-.0077307	-.0073753
Part sorgho	ATE			
	Améliorée	0.000373	-0.00828	-0.00725
	Hybride	-0.0679***	-0.0694**	-0.0699***
	% ATE			
	Améliorée	.0053511	-.1082744	-.0946649
Part sorgho1	ATE			
	Améliorée	-0.0363	-0.0734**	-0.0720**
	Hybride	0.0120	-0.00288	-0.00522
	% ATE			
	Améliorée	-.1126063	-.1902753**	-.1867071**
Partcereale	ATE			
	Améliorée	0.0456*	0.0646*	0.0592*
	Hybride	0.0202	0.0542	0.0625
	% ATE			
	Améliorée	.1835128*	.2393542*	.2194374*
Partvente	ATE			
	Améliorée	0.0522**	0.0811**	0.0760**
	Hybride	0.142***	0.104**	0.105**
	% ATE			
	Améliorée	.937192**	1.242769**	1.166684**
	Hybride	2.556126***	1.601737**	1.614431**

\* p&lt;0.10, \*\* p&lt;0.05, \*\*\* &lt;0.001

**Table annexe 1. Effets marginaux prévus, modèle Logit ordonné**

	dy/dx	Méthode Delta- Ecart- type	z	P>z
Parcelle individuelle				
Variété locale	0.13004	0.073798	1.76	0.078
Variété améliorée	-0.09757	0.055008	-1.77	0.076
Variété hybride	-0.03247	0.019407	-1.67	0.094
Epouse				
Variété locale	-0.20016	0.077019	-2.6	0.009
Variété améliorée	0.150182	0.057427	2.62	0.009
Variété hybride	0.049976	0.020973	2.38	0.017
Fils				
Variété locale	-0.09246	0.05413	-1.71	0.088
Variété améliorée	0.069376	0.040743	1.7	0.089
Variété hybride	0.023087	0.013827	1.67	0.095
Niveau d'instruction				
Variété locale	-0.19928	0.044414	-4.49	0.000
Variété améliorée	0.149523	0.033556	4.46	0.000
Variété hybride	0.049757	0.013174	3.78	0.000
Lutte contre l'érosion				
Variété locale	0.107774	0.045797	2.35	0.019
Variété améliorée	-0.08086	0.033982	-2.38	0.017
Variété hybride	-0.02691	0.012477	-2.16	0.031
Ressources				
Variété locale	-0.04677	0.017592	-2.66	0.008
Variété améliorée	0.035094	0.013091	2.68	0.007
Variété hybride	0.011678	0.004828	2.42	0.016
Main d'œuvre disponible				
Variété locale	-0.04325	0.018644	-2.32	0.02
Variété améliorée	0.032448	0.014146	2.29	0.022
Variété hybride	0.010798	0.004777	2.26	0.024

\*seules les variables statistiquement significatives ont été prises en compte  
n=728