

EFFETS DE L'ADOPTION DE LA TECHNIQUE DU MICRODOSAGE D'ENGRAIS SUR LA DISPONIBILITE ET L'ACCESSIBILITE CERELIERE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES A BASE DE MIL ET DE SORGHU AU MALI

P. SISSOKO^{1,2*}, F. BERTI², S. GRYS³, P. LEBAILLY²

^{1,2*}Agroéconomiste, Attaché de recherche, Institut d'Economie Rurale (IER), CRRRA de Sotuba, BP 262, Bamako, MALI/ Doctorant, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Passage des Déportés, 2 - 5030 Gembloux, Belgique. Email: sissokopenda@hotmail.com/penda.sissoko@uliege.be

²Ingénieur agronome, Chargé de recherche, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Economie et Développement Rural, Passage des Déportés, 2 - 5030 Gembloux, Belgique. Email: fabio.berti@uliege.be

³PhD, Senior Researcher, Agronomist, Department of International Environment and Development Studies, Noragric, Norwegian/Norwegian university of Life Sciences (NMBU). Email: gry.synnevag@nmbu.no

²Docteur, Professeur, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Economie et Développement Rural, Passage des Déportés, 2 - 5030 Gembloux, Belgique. Email : philippe.lebailly@uliege.be

*Correspondant auteur : sissokopenda@hotmail.com ; Tel: + 223 76 45 59 50

RESUME

Cette étude examine l'effet de l'adoption de la technique de microdosage d'engrais sur l'autosuffisance céréalière des exploitations agricoles à base de mil et de sorgho au Mali. Des données ont été collectées au cours de deux campagnes agricoles, à partir des enquêtes auprès de 108 exploitations agricoles. Les résultats montrent que l'application de la technique de microdosage par les producteurs sur les cultures de mil et de sorgho permet d'obtenir des rendements plus élevés comparativement à l'ancienne pratique des producteurs. Les résultats montrent aussi que l'adoption de la technique à grande échelle par les agriculteurs contribue l'amélioration de la sécurité alimentaire par la couverture des besoins céréaliers des exploitations agricoles. Des taux de couverture autonome et apparente des besoins céréaliers supérieurs ont été obtenus en moyenne pour les deux campagnes agricoles (2013-2014 et 2014-2015) avec les exploitations agricoles pratiquant le microdosage d'engrais sur le mil et le sorgho, comparés à celles en pratique paysanne.

Mots- clés : microdosage d'engrais, effets, sécurité alimentaire, exploitations agricoles, mil, sorgho, Mali

ABSTRACT

EFFECTS OF ADOPTING FERTILIZER TECHNIC MICRO DOSING ON THE CEREALS AVAILABILITY AND ACCESSIBILITY OF AGRICULTURAL FARMS BASED ON MILLET AND SORGHUM IN MALI

This study examines the effect of the adoption of fertilizer microdosing technology on the cereal self-sufficiency of millet and sorghum farms in Mali. Data were collected during two crop years, based on surveys of 108 farms. The results show that the application of the microdosing technique by producers on millet and sorghum crops allows higher yields compared to producers with the traditional practice. The results also show that the large-scale adoption of the technique by farmers contributes to improving food security by covering the cereal needs of agricultural farms. Superiors' autonomous and apparent rates coverage cereal were obtained with these farms compared to farms in peasant practice for two campaign (2013-2014 and 2014-2015).

Keywords : fertilizer micro-dosing technique, effects, food security, farms, millet, sorghum, Mali

INTRODUCTION

Le mil et le sorgho constituent les principales productions céréalières les plus consommées au Mali, respectivement 21 % de la consommation totale en milieu urbain contre 79 % en milieu rural (CILSS, 2009 citant Aparisi *et al.*, 2013). Ces deux céréales sont consommées sous diverses formes. Les farines servent à préparer le 'to' (pâte) et du couscous. Les farines composées améliorent la nutrition infantile et les grains maltés servent à la production de bière traditionnelle. Les pailles de ces plantes sont aussi utilisées dans l'alimentation du bétail et la construction des toitures. En termes de volume de production de céréales, le mil et le sorgho occupent respectivement la 2^{ème} et la 3^{ème} position après le riz. Sur une production céréalière totale estimée à 8 millions de tonnes pour la campagne 2015-2016, celles du mil et du sorgho correspondent respectivement à 1 864 301 et 1 527 456 t (MA/CPS/SDR, 2016), soit au total 42 % de la production céréalière totale. Toutefois, les rendements du mil et du sorgho sont faibles comparativement à ceux du riz et du maïs. Les rendements moyens en milieu paysan sont de 0,959 t/ha pour le mil et 1,048 t/ha pour le sorgho contre 2,538 t/ha pour le maïs et 2,541 t/ha pour le riz (MA/CPS/SDR, 2016 ; MA/MEP/SG, 2016). Les faibles rendements paysans de ces deux spéculations sont liés à plusieurs facteurs parmi lesquels, les conditions climatiques, notamment la variabilité pluviométrique qui influence fortement leur productions et rendements (MA/CPS, 2004). D'autres facteurs explicatifs portent sur la pauvreté des sols (sols ferrugineux tropicaux dominants) où sont cultivés le mil et le sorgho (Traoré *et al.*, 2018). Ces deux cultures sont pratiquées de façon traditionnelles, extensives avec ou sans apport d'intrants tels les variétés améliorées et les engrais minéraux (Staatz *et al.*, 2011 ; Traoré *et al.*, 2018). On note également les attaques d'ennemis des cultures et les conditions socioéconomiques des producteurs dont entre autres les difficultés d'accès aux équipements agricoles et les faibles revenus des paysans (Traoré *et al.*, 2018).

Mais il est apparu depuis les années 1980 que la principale contrainte à la production du mil et du sorgho, hormis les aléas pluviométriques, était la faible fertilité des sols (MA/CNRA, 2009 ; Traoré *et al.*, 2018). Les apports d'engrais minéraux par les producteurs sur le mil et le sorgho sont limités à cause de la faible

valorisation de l'engrais minéral sur ces cultures qui est expliquée par le rapport du prix observé de l'engrais minéral jugé trop élevé comparé au prix de vente du mil et du sorgho (Kelly *et al.*, 2006). De plus, le faible taux de matière organique observé au niveau de ces cultures est lié aux faibles restitutions naturelles à travers les jachères de durée de plus en plus courte et aux rares apports de fumure organique de qualité médiocre (Traoré *et al.*, 2018)

Dans ce contexte agro-pédologique et socio-économique, l'apport de très petites doses d'engrais minéral ou 'microdoses' est apparu comme une technique pouvant être intéressante pour les producteurs disposant de faibles capacités d'investissement. Cette technique, appelée microdosage d'engrais a été développée par l'Institut International de recherche sur les cultures des zones tropicales et semi-arides (ICRISAT) en partenariat avec les instituts nationaux de recherche au Sahel. Elle est citée comme l'une des méthodes ayant le potentiel d'augmenter les rendements des céréales sèches (Aune *et al.*, 2012 ; Sogodogo *et al.*, 2016). En condition de pluviométries limitantes et aléatoires, la perte économique pourrait être moindre avec la technique du microdosage, comparée à la pratique habituelle de fertilisation basée sur des doses d'engrais plus élevées.

Au Mali, le microdosage d'engrais est diffusé depuis 2009, dans les zones sahéliennes et soudano-sahéliennes à pluviométrie comprise entre 400-600 et 600- 800 mm pour adoption par les producteurs. Il est réalisé manuellement ou mécaniquement par les producteurs sur les cultures de mil et de sorgho. La technique manuelle consiste à appliquer de petites quantités d'engrais minéraux dans les trous de plantation au moment des semis ou après la levée des plants (FAO/Terrafrica, 2011). La technique mécanique consiste en l'incorporation simultanée de la semence et de l'engrais en microdose dans le même poquet avec l'utilisation d'un semoir à disque attelé à un animal de traction (Coulibaly *et al.*, 2012). Ces deux techniques se distinguent de l'ancienne pratique des producteurs (système de culture traditionnel) au niveau de l'apport d'engrais. En effet, l'ancienne pratique consiste à appliquer l'engrais minéral à la volée ou en lignes sur toute la superficie d'un champ après le 1^{er} sarclage (MA/SAA, 2010).

Les doses d'engrais recommandées par la recherche en milieu paysan pour le système traditionnel sont de 100 kg de complexe céréale

(comme le 17N-17P-17K ou le 15N-15P-15K) ou 50 kg de DAP (18N-46P) associé à 50 kg/ha d'urée (MA-ASS, 2010). Les doses d'engrais proposées pour la technique manuelle varient suivant les zones de production (MA-SAA, 2010). Elles sont de 20 kg/ha de di ammonium de potassium (DAP) ou 30 kg/ha d'engrais composé NPK pour la zone de production de 400-600 mm de pluviométrie, avec un écartement de 100 cm x 100 cm, et de 31 kg/ha de di ammonium de potassium (DAP) ou 47 kg/ha de NPK pour la zone de production 600-800 mm de pluviométrie avec un écartement de 80 cm x 80 cm. La technique mécanique de microdosage d'engrais permet l'apport régulier de 0,2 g d'engrais complexe céréale au poquet, soit environ 5 kg/ha pour une densité de semis de 80 cm x 50 cm (Coulibaly *et al.*, 2012).

Cette étude vise à évaluer la contribution de la technique du microdosage d'engrais à l'amélioration de sécurité alimentaire à travers la couverture des besoins céréaliers des exploitations agricoles. Deux objectifs spécifiques sont définis. Le premier consiste à déterminer les rendements du mil et du sorgho avec le système de culture basé sur l'application des techniques manuelle et mécanique de

microdosage d'engrais et celui de la pratique paysanne. Le second vise à évaluer les effets de l'adoption à grande échelle de la technique sur la disponibilité et l'accessibilité céréalière des exploitations agricoles à base de mil et de sorgho dans les zones sahélienne et soudano sahélienne du Mali.

METHODOLOGIE

ZONE ET ECHANTILLON D'ETUDE

La zone d'étude est constituée par trois régions administratives (Koulikoro, Ségou et Mopti) qui représentent les principaux bassins de production des mil et sorgho au Mali, (tableau 1). Ces régions appartiennent aux domaines agro-climatiques sahélien et soudano-sahélien où la fertilisation minérale de ces deux cultures par microdosage a été développée en milieu paysan par la recherche, et vulgarisée par les structures d'encadrement publiques et les Organisations Non Gouvernementales [ONG]. L'étude a concerné neuf (9) sites équitablement répartis dans les trois régions, soit trois (3) sites par région.

Tableau 1 : Caractéristiques des régions recouvrant les sites de recherche.

Characteristics of regions covering research sites.

Régions	Sites de recherche	Pluviométrie (mm) des sites	Zones Agro- climatiques
Koulikoro	Nossombougou, Didiéni, Koloko	600 – 850 mm	Soudano-sahélienne
Ségou	Konobougou, Niono, Cinzana,	500 – 700 mm	Sahélienne
Mopti	Bandiagara, Bankass, Koro	400 – 600 mm	Sahélienne

Source : Auteurs, établi sur la base des données collectées, 2013-2014

Un échantillon de 360 exploitations agricoles a d'abord été choisi de façon aléatoire, à raison de 40 exploitations par site, avec 3 sites par région, pour réaliser un diagnostic des systèmes de culture à base de mil et de sorgho. Sur la base de cet échantillon, 30 % d'entre elles (108 exploitations) ont été retenues pour un suivi approfondi des parcelles pendant deux campagnes (2013-2014 et 2014-2015). Ceci a permis d'évaluer l'adoption et les performances des techniques manuelle et mécanique de microdosage d'engrais en comparaison avec la pratique paysanne. Ensuite, 50 % de l'échantillon des 108 exploitations ont été retenues pour évaluer les effets de l'adoption à

grande échelle de la technique du microdosage d'engrais sur la sécurité alimentaire des exploitations agricoles.

COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES

Des interviews semi-structurées [ISS] ou entretiens individuels ont été réalisées auprès des chefs d'unité de production agricole [UPA] pour collecter des informations en vue de caractériser les exploitations agricoles suivant l'adoption ou pas de la technique du microdosage d'engrais. Les données collectées concernent: les superficies totales et celles cultivées en mil et en sorgho des exploitations, les quantités

d'intrants (semences, engrais, insecticides, fongicides, et herbicides) utilisées sur les parcelles du mil et du sorgho, la main d'œuvre familiale et extérieure employée, les productions du mil et du sorgho (quantités de sacs récoltés), les productions des autres céréales (riz, maïs et fonio), les achats et les ventes des céréales par les exploitations. Les appréciations des producteurs relatives aux performances et à la mise en œuvre des techniques (manuelle et mécanique) de microdosage d'engrais en comparaison avec la pratique paysanne ont été également collectées.

L'estimation du taux de couverture céréalière des exploitations agricoles enquêtées a été réalisée selon les travaux de Ouédraogo *et al.* (2007). Ces auteurs ont défini les concepts de pauvreté céréalière, de pauvreté vivrière et de pauvreté énergétique afin de déterminer les populations à risque d'insécurité alimentaire. La pauvreté céréalière telle que définie par eux, permet de dénombrer les ménages dont la production domestique de céréales est insuffisante pour la couverture des besoins de consommation de leurs membres. Les ménages qui arrivent à satisfaire entièrement leurs besoins en céréales à partir de leurs propres productions sont qualifiés de ménages autonomes sur le plan céréalière. Lorsqu'on appréhende à la fois la production du ménage lors de la campagne agricole, ses stocks de céréales de la campagne précédente et ses achats sur le marché et que ce ménage ne parvient pas à satisfaire les besoins céréalières de ses membres, il est qualifié de « pauvre céréalière apparent ». Cette pauvreté céréalière apparente peut s'expliquer par la faiblesse du pouvoir d'achat du ménage ou par une mauvaise gestion de ses disponibilités céréalières. Quant à la pauvreté vivrière, elle est employée pour désigner les ménages qui n'arrivent pas à satisfaire leurs besoins énergétiques à partir de leur production vivrière (céréales, tubercules et légumineuses), des stocks de produits vivriers, des échanges nets de produits alimentaires de base à travers les réseaux de solidarité et de leurs achats sur le marché. Aux produits vivriers, les auteurs ont ajouté l'autoconsommation de viande pour définir le concept de pauvreté énergétique.

Sur la base de la formule générale de l'indice de pauvreté développée par Foster *et al.* (1984), un indice a été calculé pour chacun des types de pauvreté défini par Ouédraogo *et al.* (2007) pour caractériser les ménages à risque. Les populations à risque sont déterminées sur la

base d'un seuil de consommation à partir duquel on compare les disponibilités alimentaires et les besoins de l'individu.

La formule générale de l'indice de pauvreté (céréalière ou vivrière) développée par Foster *et al.* (1984), adapté par Ouédraogo *et al.* (2007), est établie de la façon suivante :

$$P_{\alpha} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^q \left(\frac{Z - Y_i}{Z} \right)^{\alpha} \quad (\text{Equation 1})$$

Concernant l'indice de pauvreté céréalière, les variables sont définies comme suit : Z : seuil de pauvreté céréalière, norme nationale de consommation céréalière ou les besoins énergétiques de l'individu sont définis par tranche d'âge, Y_i : disponibilité céréalière ou énergétique de l'individu i , q : nombre d'individus de la population considérée comme pauvres, N : effectif total de la population, α : paramètre représentant le bien-être des plus pauvres parmi les pauvres. Il représente la proportion des personnes à risque dans l'ensemble de la population.

Le concept de pauvreté autonome permet de mettre en évidence la dimension « disponibilité » céréalière de la sécurité alimentaire et celui de la pauvreté céréalière apparente les dimensions « disponibilité » et « accessibilité » de la sécurité alimentaire (Ouédraogo *et al.*, 2007). Ces deux concepts sont utilisés dans cette étude pour déterminer les exploitations autosuffisantes et celles en pauvreté céréalière « autonome ou apparente ».

L'incidence de la pauvreté céréalière autonome selon Ouédraogo *et al.* (2007) est mesurée par comparaison avec la production céréalière domestique du ménage et ses besoins de consommation céréalière. Pour une population donnée, elle est estimée avec les formules suivantes (Ouédraogo *et al.* 2007) :

Soient Z_1 la norme nationale de consommation par individu et Y_{1id} la production céréalière domestique de l'individu d'approximée par la production du ménage rapportée à son effectif total. Si $Y_{1id} < Z_1$, alors l'individu d est qualifié de consommateur à bilan céréalière négatif ou individu pauvre céréalière autonome. On calcule ainsi le taux de couverture autonome des besoins céréalières céréalière (TCA) ou taux d'auto approvisionnement en céréales des ménages avant d'estimer l'incidence de la pauvreté associée.

$$TCA = \frac{Y_{1i}}{Z_1 \times E_i} \times 100 \quad (\text{Equation 2})$$

$$P_1 = \frac{\sum E_i \times P(Y_{1i})^{-1}}{\sum E_i} \times 100 \quad (\text{Equation 3})$$

Y_{1i} : production céréalière du ménage i , E_i : effectif du ménage, Z_1 : seuil national de consommation céréalière en kg/personne/an, P_1 : proportion des individus non autonomes, P : fonction dichotomique prenant la valeur 1 si $Y_{1i} < Z_1$ et 0 si non.

Les taux de couverture des besoins céréaliers des exploitations agricoles ont été déterminés en utilisant la dernière estimation de la norme nationale de consommation céréalière déterminée par le Comité Inter Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel [CILSS] pour les pays du sahel, qui est 186 kg/pers/an pour le Mali (CILSS, 2004). Cette norme a été ensuite multipliée par le nombre total d'unités de consommation des exploitations agricoles pour obtenir les besoins de consommation céréalière des exploitations agricoles. L'unité de consommation est définie par une personne de la tranche d'âge de référence (Dembélé, 2012). Sur la base des données démographiques collectées, des tranches d'âge ont été identifiées et des unités de consommation correspondantes ont été affectées aux différentes tranches d'âge. Le nombre d'individus par tranche d'âges a été par la suite multiplié par leurs unités de consommation équivalentes pour obtenir les unités totales de consommation familiale.

La production céréalière domestique (mil, sorgho, maïs, riz et fonio) par type d'exploitation collectée à la suite des enquêtes est divisée par les besoins de consommations puis exprimé en pourcentage pour avoir le taux de couverture des besoins céréaliers des exploitations agricoles. Ce taux de couverture calculé est comparé à la norme nationale ou seuil de consommation céréalière de 186 kg/pers/an.

La formule retenue dans cette étude pour calculer le taux de couverture autonome des besoins céréaliers des exploitations agricoles est la suivante :

$$TCA = \frac{Y_{1i}}{Z_1 \times UC_i} \times 100 \quad (\text{Equation 4})$$

$$P_1 = \frac{\sum UC_i \times P(Y_{1i})^{-1}}{\sum UC_i} \times 100 \quad (\text{Equation 5})$$

Avec TCA : taux de couverture autonome des besoins céréaliers, Y_{1i} : production céréalière du ménage i , UC_i : unités de consommation totale du ménage, Z_1 : seuil ou norme nationale de consommation céréalière de 186 kg/personne/an au Mali ; P_1 : proportion des individus non autonomes, P : fonction dichotomique prenant la valeur 1 si $Y_{1i} < Z_1$ et 0 si non.

Pour le taux de couverture apparent des besoins céréaliers, la formule est la suivante :

$$TCa = \frac{Y_{1i}}{Z_1 \times UC_i} \times 100 \quad (\text{Equation 6})$$

$$P_2 = \frac{\sum UC_i \times P(Y_{2i})^{-1}}{\sum UC_i} \times 100 \quad (\text{Equation 7})$$

Avec TCa : taux de couverture apparent des besoins céréaliers, P_2 : proportion des individus pauvres céréaliers, $Y_{2i} = Y_{1i} + \text{stocks de céréales} + \text{flux de céréales} + \text{solde entre dons et cadeaux reçus en céréales par le ménage}$, P : fonction dichotomique prenant la valeur 1 si $Y_{2i} < Z_1$ et 0 si non

Les statistiques descriptives (fréquence, moyenne, écart type) et les méthodes analytiques (tests de comparaison de moyenne, test Levene's d'homogénéité de variance, à 95% d'intervalle de confiance) ont été effectuées pour analyser les données collectées avec le logiciel STATA.

RESULTATS

CARACTERISTIQUES DES EXPLOITATIONS AGRICOLES ENQUETÉES DANS LES SITES DE RECHERCHE

Les caractéristiques structurelles des exploitations agricoles analysées selon les deux systèmes de culture (tableau 2) montrent que les exploitations évoluant avec le système de microdosage d'engrais, comparées à celles avec la pratique paysanne, ont une taille (population) plus élevée, des superficies en mil et sorgho relativement plus étendues, plus d'équipements agricoles (charrue, charrette, semoir) et plus d'animaux de traction (bœuf de

trait). Les résultats montrent également que la superficie moyenne des cultures observée avec la pratique de microdosage d'engrais est

relativement plus petite, soit 2,7 ha. Ceci représente environ un tiers de la superficie totale moyenne cultivée en mil et sorgho.

Tableau 2 : Principales caractéristiques des exploitations agricoles suivant le statut d'adoption (les données présentées dans le tableau représentent des moyennes).

Main characteristics of farms by adoption status (the data presented in the table represent averages).

	Exploitations adoptant (N = 74)	Exploitations non adoptant (N = 34)	Moyenne par exploitation (N = 108)
Age moyen (ans) du chef d'exploitation	48	49	49
Taille (nombre de personnes)	23	18	21
Superficie moyenne mil et sorgho cultivée (ha)	7,68	6,63	7,35
Superficie moyenne sous microdosage d'engrais	2,71	-	1,86
% Semoir (à traction animale)	28	16	24
% Bœuf de trait	65	29	54
% Charrue	51	22	42
% charrette	71	32	59
% Education formelle* ¹	24	10	20
% Alphabétisé * ¹	31	18	27
% Aucune éducation * ¹	44	82	56
% Contact * ¹	56	21	45
% Crédit agricole* ¹	14	5	11

*¹ Concerne le chef d'exploitation

Source : données d'enquête, 2013-2014

Les caractéristiques techniques de la production du mil et du sorgho analysées avec les deux systèmes culture (microdosage d'engrais et la pratique paysanne) montrent que les pratiques de fertilisation observées avec les deux systèmes sont minérales et organiques (tableau 3). Toutefois, la majorité des exploitations avec les techniques de microdosage (technique manuelle et mécanique) utilise les engrais

minéraux tels le NPK ou Complexe céréale et le DAP alors que celles en pratique paysanne utilisent davantage le fumier et les déchets ménagers. D'autre part, une plus grande proportion d'exploitations adoptant les techniques manuelle et mécanique de microdosage d'engrais a recouru à des variétés améliorées comparées aux exploitations en pratique paysanne.

Tableau 3 : Utilisation des intrants sur les parcelles de cultures du mil et du sorgho avec les techniques pratiquées dans les sites de recherche, campagne 2013-2014.

Use of inputs on millet and sorghum plots with techniques in research sites, 2013-2014.

	Parcelle de mil			Parcelle de sorgho		
	Microd. Manuel (N = 32)	Microd. mécanique (N = 15)	Pratique Paysanne (N = 24)	Microd. Manuel (N = 22)	Microd. mécanique (N = 17)	Pratique Paysanne (N = 11)
%Variétés améliorées	23	28	16	37	36	11
% NPK (complexe)	81	80	21	73	59	-
% DAP	19	20	-	27	41	18
% Urée	3	-	8	-	-	36
% Fumier	29	27	58	14	6	27
% Déchets ménagers	6	7	17	5	-	18
% Compost	13	27	-	5	-	-

Source : données d'enquête, 2013-2014

Microd. = microdosage d'engrais

RENDEMENTS DU MIL ET DU SORGHO SELON LES SYSTEMES DE CULTURE PRATIQUES

Le terme de « système de culture » a été adopté dans cette recherche pour identifier les différentes techniques de culture pratiquées sur le mil et le sorgho. Il s'agit de comparer les rendements des parcelles de culture du mil et du sorgho des exploitations qui utilisent le système « pratique paysanne » et ceux des exploitations avec le système « microdosage d'engrais » où la seule variable modifiée est la technique du microdosage. A noter que le système de microdosage d'engrais comporte deux techniques, manuelle ou mécanique. Ces dernières sont appliquées par les producteurs sur la culture du mil ou du sorgho ou les deux à la fois.

Les résultats montrent des rendements grain du mil et du sorgho plus élevés sur les parcelles utilisant les techniques de microdosage d'engrais comparés à ceux des parcelles en pratique paysanne au cours des deux campagnes 2013-2014 et 2014-2015 (tableau 4). Les accroissements de rendement du mil et du sorgho observés en campagne 2013-2014 avec les techniques de microdosage, comparés à la pratique paysanne, sont pour le mil de 69 % avec la technique manuelle et 109 % avec la technique mécanique. Pour le sorgho ils sont de 81 % avec la technique manuelle et 129 % avec la technique mécanique. Quant à la campagne 2014-2015, les accroissements des rendements notés ont été pour le mil, de 58 % avec la technique manuelle et 97 % avec la technique mécanique. Pour le sorgho, ils s'élèvent à 88 et 145 % respectivement avec la technique manuelle et mécanique.

Tableau 4 : Valeurs moyennes des rendements grain (kg/ha) du mil et du sorgho à 95 % d'intervalle de confiance avec les techniques pratiquées : techniques manuelle et mécanique de microdosage d'engrais comparées à la pratique paysanne.

Verage values of grain yields (kg/ha) of millet and sorghum at 95 % confidence interval with the techniques used : manual and mechanical fertilizer microdosing techniques compared to peasant practice.

Pratiques culturales	Campagne 2013-2014		Campagne 2014- 2015	
	Mil	Sorgho	Mil	Sorgho
Microdosage mécanique (N= 25)	1551(447)	1569 (457)	1484 (255)	1 563 (328)
Microdosage manuel (N= 49)	1256 (321)	1242 (255)	1 195 (171)	1 204 (236)
Pratique Paysanne (N= 34)	741(212)	686 (296)	755 (272)	639 (175)
P-Value (Test F)	0,000	0,000	0,000	0,000
Différence (Mécanique – P. Paysanne)	810*	882*	729*	924*
Différence (Manuel – P. Paysanne)	514*	556*	439*	565*
Différence (Mécanique – Manuel)	295*	327*	289*	359*
Variance (Levene's)	0,029*	0,031*	0,011*	0,018*

Source : données d'enquête, campagnes 2013-2014 et 2014-2015

* la différence moyenne de rendement est significative au niveau 0.05.

Les chiffres () représentent des écarts types

Les résultats ont également montré des augmentations de rendements grains de mil et de sorgho avec la technique mécanique de microdosage d'engrais comparée à la technique manuelle. Les accroissements calculés sur les cultures ont varié de 23 à 30 % (tableau 4).

Les analyses statistiques (ANOVA) réalisées sur les rendements à 95 % d'intervalle de confiance (tableau 4) ont montré des différences hautement significatives entre les rendements du mil et du sorgho avec les techniques de microdosage d'engrais et ceux de la pratique paysanne (P = 0,000). Le test t de student

effectué à un facteur pour la comparaison des moyennes de rendements a aussi montré des différences significatives (LSD) entre les rendements moyens du mil et du sorgho avec les techniques de microdosage d'engrais et ceux de la pratique paysanne. Le test de Levene's sur l'égalité de variance a aussi montré des différences statistiques entre les écarts types des rendements des techniques manuelle et mécanique de microdosage d'engrais et ceux des rendements de la pratique paysanne, à 95 % d'intervalle de confiance (P < 0,05).

EFFET DE L'ADOPTION DE LA TECHNIQUE DU MICRODOSAGE D'ENGRAIS SUR LA DISPONIBILITE ET L'ACCESSIBILITE CEREA-LIERE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES A BASE DE MIL ET DE SORGHO

Productions céréalières des exploitations agricoles selon les systèmes de culture pratiqués (microdosage d'engrais et pratique paysanne)

Les productions céréalières des exploitations agricoles enquêtées dans les sites de d'étude sont représentées par celles des mil, sorgho, maïs, riz et fonio. Les résultats montrent des productions céréalières plus élevées au sein des exploitations ayant adopté le microdosage d'engrais sur les cultures du mil et du sorgho,

comparativement à celles des exploitations adoptant la pratique paysanne sur les deux campagnes, 2013-2014 et 2014-2015 (tableau 5). Le mil et le sorgho occupent une part importante de la production totale. Ces deux cultures ont représenté en moyenne 91 % des productions céréalières totales des exploitations pratiquant le microdosage d'engrais et 77 % pour la pratique paysanne. Les résultats montrent également que les productions céréalières des exploitations agricoles sont en majorité autoconsommées (plus de 80 %). La part occupée dans l'autoconsommation par le mil et le sorgho est plus importante. Celle-ci est de 73 % au sein des exploitations pratiquant le microdosage d'engrais et 69 % pour la pratique paysanne (tableau 5).

Tableau 5 : Productions céréalières (kg), autoconsommations (kg) et surplus céréaliers (kg) des exploitations agricoles et les parts occupées par le mil et le sorgho, moyenne de 2 campagnes 2013-2014 et 2014-2015.

Farm cereal production (kg), own consumption (kg) and cereal surplus (kg) and shares of millet and sorghum, average of 2 campaigns 2013-2014 and 2014-2015.

	Exploitations avec le microdosage d'engrais				Exploitations avec la pratique paysanne			
	Superficie (ha)	Production (kg)	Autocons. (kg)	Surplus (kg)	Superficie (ha)	Production (kg)	Autocons. (kg)	Surplus (kg)
Mil	3,31	4 820	3 929	892	2,36	1049	930,5	119
Sorgho	1,02	1 137	874	263	1,3	820	744	77
Maïs	0,37	502	385	117	0,51	537	471	67
Riz	0,07	37	37	0	0	0	0	0
Fonio	0,03	56	56	0	0,07	29	29	0
Mil/sorgho	4,33	5 957 (91) ^a	4 802 (73) ^b	1155 (91) ^c	3,46	1 869 (77) ^a	1675 (69) ^b	195 (74) ^c
Total céréales	4,8	6 551	5 280 (81) ^d	1271	4,04	2 435	2 173 (89) ^d	262

Source : données d'enquête, campagnes 2013-2014 et 2014-2015

Les données ()^{a,b,c} représentent les parts du mil et du sorgho, exprimées en % (a = part dans la production totale de céréales ; b = part autoconsommée de la production ; c = part dans le surplus total de production céréalière).

Les données ()^d représentent la part de la production totale de céréales autoconsommées par les exploitations agricoles.

Le surplus de production céréalière des exploitations, obtenu par la différence entre les quantités produites et les quantités autoconsommées (consommations familiales + semences + dons) apparaît plus élevé au niveau des exploitations adoptant la technique du microdosage d'engrais pour le mil et le sorgho par rapport à celles de la pratique paysanne. Sur les deux campagnes agricoles, 2013-2014 et 2014-2015, les surplus de production céréalière ont été évalués en moyenne à 1271 kg de grains avec les exploitations pratiquant le microdosage d'engrais, contre 262 kg pour celles de la pratique paysanne.

Disponibilité et accessibilité céréalière des exploitations agricoles à base de mil et de sorgho

Des taux de couverture autonome et apparente des besoins céréaliers supérieurs ont été obtenus en moyenne pour les deux campagnes agricoles (2013-2014 et 2014-2015) avec les exploitations agricoles pratiquant le microdosage d'engrais sur le mil et le sorgho, comparés à celles en pratique paysanne (tableau 6). Les taux de couverture autonome des besoins céréaliers (TCA) calculés ont été en moyenne de 236 % avec les exploitations adoptant le microdosage

d'engrais contre 108 % avec celles évoluant en pratique paysanne. Quant aux taux de couverture apparente des besoins céréaliers (TCa), ils ont été respectivement de 249 % et 147 % pour les exploitations sous microdosage d'engrais et celles en pratique paysanne. Ces taux de couverture des besoins céréaliers observés au sein des exploitations avec microdosage d'engrais traduisent le fait que les exploitations adoptant le microdosage d'engrais, en moyenne, renforcent significativement la couverture de leurs besoins céréaliers en comparaison avec la pratique paysanne. Cela se traduit également

par une plus grande proportion d'exploitations « autonomes céréalières » (autosuffisantes en production domestique) qui est estimée à 64 % au sein des exploitations pratiquant le système de microdosage d'engrais contre seulement 19 % pour celles en pratique paysanne (tableau 6). La répercussion est également positive s'agissant de la proportion d'exploitations pauvres céréalières apparentes, qui est estimée à 27 % pour les exploitations avec le microdosage d'engrais alors qu'elle est estimée à 71 % pour celles en pratique paysanne (tableau 6).

Tableau 6 : Valeurs moyennes des taux de couverture des besoins céréaliers (autonome et apparente) des exploitations agricoles et les proportions (%) à 95 % d'intervalle de confiance, moyenne de 2 campagnes (2013-2014 et 2014-2015).

Average values of autonomous cereal coverage rates and apparent cereal coverage rates of farms and proportions (%) at 95 % confidence interval, average of 2 seasons (2013-2014 and 2014-2015).

Techniques culturales	Taux de couverture autonome : TCA (%)		Taux de couverture apparente : TCa (%)	
	Microdosage d'engrais (I)	Pratique Paysanne (J)	Microdosage d'engrais (I)	Pratique Paysanne (J)
Effectif	33	21	33	21
Moyenne	236	108	249	147
Ecart-Type	119,25	60,33	115,11	71,52
Erreur standard moyenne	20,759	13,166	20,039	15,607
Différence moyenne (I-J)	128*	.	102*	.
Variance (Levene's)	0,007*	.	0,031*	.
Autosuffisantes (%)	64	19	73	29
Pauvres céréalières (%)	36	81	27	71

Source : données d'enquête, campagnes 2013-2014 et 2014-2015

* La différence moyenne de rendement est significative au niveau 0.05.

TCA = Taux de couverture céréalière autonome ; TCa = Taux de couverture céréalière apparente

PERCEPTIONS DES PRODUCTEURS SUR LES TECHNIQUES DE MICRODOSAGE D'ENGRAIS

D'après les perceptions des producteurs enquêtés dans les sites d'étude, les techniques de microdosage d'engrais, comparées à la pratique paysanne, permettent d'obtenir les résultats suivants, exprimés en pourcentage de perception positive : des rendements grains plus élevés (80 %), une diminution des coûts de l'engrais minéral (86 %), une réduction de la période de soudure des exploitations agricoles (86 %), et une amélioration des revenus des producteurs (33 %). Les principales contraintes signalées par les producteurs dans l'utilisation de ces techniques concernent les difficultés liées à la disponibilité et à l'accès des producteurs à l'engrais minéral, la pénibilité du

travail observée avec la technique manuelle, le coût élevé et la disponibilité du semoir. En outre, le nombre moyen de mois de soudure observé au cours des cinq dernières années par les ménages adoptant la technique de microdosage d'engrais a été de 1 mois, comparé à 4 mois pour celles non adoptantes.

DISCUSSION

Les augmentations significatives de rendements observées par l'application des techniques manuelle et mécanique de microdosage d'engrais démontrent qu'elles induisent un effet positif sur la productivité et la production des cultures du mil et du sorgho. Pour ces deux spéculations, les rendements plus élevés, avec l'utilisation des techniques de microdosage

d'engrais, pourraient s'expliquer par l'association d'un ensemble de pratiques d'intensification (plus de fumier, de compost, de déchets ménagers, et de variétés améliorées), comparée à la pratique paysanne. Les rendements grains ont été élevés par l'utilisation de la technique mécanique de microdosage d'engrais en comparaison avec celle de la technique manuelle. Ceci est expliqué par le fait l'incorporation simultanée permet à la semence d'utiliser efficacement l'engrais minéral. Aussi, plus de quantités de fumure organique ainsi que des variétés améliorées sont utilisées sur les parcelles avec la technique mécanique de microdosage d'engrais comparées à celles des parcelles avec la technique manuelle. Par ailleurs, l'utilisation de l'équipement semoir par les agriculteurs permet le respect du calendrier cultural. Ceci pourrait avoir aussi un effet « date de semis précoce » et de ce fait, les parcelles de mil et de sorgho avec la modalité « microdosage mécanique » sont semées plus tôt que les autres. Dans ce cas, le rendement est souvent amélioré.

Des résultats analogues ont été obtenus par Aune *et al.*, 2012, Sogodogo *et al.*, 2016 et Coulibaly *et al.*, 2012 sur des tests de démonstration de la technique du microdosage en milieu paysan au Mali. Selon ces auteurs, l'apport d'engrais minéral au poquet permet d'obtenir un surplus de rendement grain de mil ou de sorgho par rapport au témoin sans engrais. Dans la même veine, Traoré *et al.* (2012) ont montré que l'application de la technique du microdosage d'engrais permet d'obtenir un surplus de rendement grain de mil de 30 à 100 % par l'application de la dose de 2 g de DAP au poquet, et de 50 à plus de 100 % par application de 2 g de DAP au poquet complété par un apport de 1 g d'urée à la levée. Les taux d'augmentation de rendement grain par rapport au témoin sans engrais ont été de 53 % et 69 % pour des doses respectives de 2 g de DAP au poquet et 2 g de DAP + 1 g d'urée au poquet.

Les tests de démonstrations du Centre Sahélien ICRISAT au Niger, au Mali et au Burkina Faso ont montré que les rendements de sorgho et de mil étaient de 44 à 120 % supérieurs par l'adoption du microdosage d'engrais comparativement à l'ancienne pratique de fertilisation recommandée par la recherche (Tabo *et al.*, 2007).

Les travaux de Coulibaly *et al.* (2012) ont aussi montré les performances de la technique mécanique comparée à la technique manuelle à travers l'augmentation des rendements grains,

qui a varié de 50 à 100 %, du mil et du sorgho. L'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'engrais avec la technique mécanique a été de 60 à 150 kg de graines par kg d'engrais utilisé. La réduction des temps de travaux de semis et d'apport d'engrais en microdose de 12 personne-jour à 1 personne-jour par hectare a été également observée avec la technique mécanique par rapport à la pratique manuelle.

Des surplus de productions céréalières, après autoconsommation, plus importants obtenus au dans les exploitations pratiquant le microdosage d'engrais comparativement à ceux des exploitations en pratique paysanne montrent que le microdosage d'engrais contribue à l'auto approvisionnement céréaliier des exploitations à base de mil et de sorgho.

Des taux moyens de couverture céréalière autonome et apparente, supérieurs à la norme, ou au seuil national de consommation céréalière, ont été obtenus au sein des exploitations utilisant le microdosage d'engrais sur les cultures de base que sont le mil et le sorgho. Ceci indique que cette technique permet d'assurer la disponibilité et l'accessibilité céréalière des exploitations agricoles l'ayant adopté.

En effet, la technique du microdosage d'engrais permet une amélioration des rendements des cultures sur les sols dégradés, une utilisation de l'engrais de façon plus efficiente, une couverture des besoins en phosphore des sols déficitaires, un « coup de pouce » aux plantes au démarrage et une maturité plus précoce les protégeant de la sécheresse ainsi qu'une limitation des pertes d'azote par volatilisation (FAO, 2012). Elle favorise également un démarrage rapide de la plante grâce au développement du système racinaire, permettant ainsi de traverser la sécheresse en début de saison, et assure une maturité plus précoce, tout en augmentant les rendements des cultures (Tabo *et al.*, 2007). En outre, d'après Aune et Bationo (2008), la technique de microdosage d'engrais peut être accessible aux producteurs pauvres disposant de faibles revenus en raison du coût d'investissement réduit en engrais. Ainsi, elle pourrait favoriser l'intensification de l'agriculture au Sahel. En condition de pluviométries limitantes et aléatoires, la perte économique pourrait être moindre avec la technique du microdosage, comparée à la pratique habituelle de fertilisation basée sur des doses d'engrais plus élevées.

CONCLUSION

Cette étude a montré que l'application des techniques manuelle et mécanique de microdosage d'engrais en comparaison à la pratique paysanne en cultures de mil et de sorgho permet d'augmenter de façon significative les rendements. Les rendements grains les plus élevés ont été obtenus avec la technique mécanique de microdosage d'engrais.

L'adoption de cette technique à grande échelle par les producteurs a permis également l'obtention de surplus céréaliers plus élevés par rapport aux exploitations utilisant la pratique paysanne. Par conséquent, elle a permis l'auto approvisionnement et l'accès des ménages aux céréales.

Au regard des rendements élevés et des surplus obtenus par l'utilisation des techniques de microdosage d'engrais dans la production du mil et du sorgho, il apparaît que le système de culture basé sur ces techniques pourrait contribuer à l'amélioration de la sécurité alimentaire et des revenus des producteurs dans les régions sahéenne et soudano-sahéenne du Mali. Toutefois, des contraintes d'accès à l'engrais minéral et aux équipements limitent l'adoption à grande échelle de la technique par les producteurs. Des efforts doivent être faits en termes de mécanisation de la technique pour réduire la demande de travail et de soutien financier aux agriculteurs pour l'achat des engrais.

REFERENCES

- Aparisi M.A., Diallo F., Balié J., 2013. Analyse des incitations et pénalisations pour le mil et le sorgho au Mali. Série notes techniques. SPAAA, FAO, Rome. 46 p.
- Aune J.B., Bationo A., 2008. Agricultural intensification in the Sahel - The ladder approach. *Agr. Syst.*, 98 (2) : 119 - 125.
- Aune J.B., Traoré C.O., Mamadou S., 2012. Low-cost technologies for improved productivity of dryland farming in Mali. *Outlook Agr.*, 41(2) : 103 - 108.
- Comité Inter Etats de Lutte Contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS)., 2004. Normes de consommation des principaux produits alimentaires dans les pays du CILSS. 67 p.
- Comité National de la Recherche Agricole (CNRA)., 2009. Rapport Bilan de 30 années (1970-2000) de la recherche agricole au Mali, Volume 1 : Productions végétales, Ministère de l'Agriculture, Bamako, 157 p.
- Coulibaly A., Aune J.B., Sissoko P., Shinohara T., Caldwell J.S., 2012. Introduction de la technique du placement mécanique de microdoses d'engrais et de la semence. Manuel technique 8. Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tokyo, Japan.
- Dembélé K., 2012. Alternative possible à la production traditionnelle du coton en Afrique dans une perspective de développement durable ? Le cas du système de production biologique et équitable au Mali. Thèse de doctorat : Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique. 159 p.
- FAO, TERRAFRICA., 2011. 2ème partie : bonnes pratiques de gestion durable des terres adaptées à l'Afrique subsaharienne. Groupes de technologies et d'études de cas. Gestion intégrée de la fertilité des sols. In : La pratique de la gestion durable des terres. Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique subsaharienne. FAO, Rome, pp. 64 - 93, www.fao.org/docrep/014/i1861f/i1861f04.pdf (consulté le 10/7/2017).
- FAO (Organisation des Nations Unis pour l'Agriculture et l'Alimentation)., 2012. La fertilisation localisée au semis des cultures ou microdose. Fiche d'information, juillet 2012. Niamey, FAO. 4 p.
- Foster J.E., Greer J., Thorbecke E., 1984. A class of decomposable poverty measures. *Econometrica*, 52 (3). 761 - 766.
- Gouvernement du Mali/Plan National d'Investissement Prioritaire dans le Secteur Agricole (PNIP-SA) au Mali, 2011-2015. Rapport du PNIP-SA, août 2010. Cellule CEDEAO
- Kelly. V., 2006. Factors affecting demand for fertilizer in Sub-Saharan Africa. World Bank, ARD Discussion paper 23.
- Ministère de l'Agriculture (MA)/Cellule de Planification et de Statistique (CPS). Annuaire statistique du Secteur Développement Rural 2016, 185 p.
- Ministère de l'Agriculture (MA)- Ministère de l'Élevage et de la Pêche (MEP)/Secrétariat général (SG). Plan de campagne agricole 2016- 2017, mars 2016. www.ma.gouv.ml www.mep.gouv.ml
- Ministère de l'Agriculture (MA) du Mali - Sassakawa Association pour l'Afrique(SAA)., 2010. Manuel de Production des céréales au Mali, 32p

- Ministère de l'Agriculture/Cellule de Planification et de la Statistique/Schéma Directeur du Développement Rural (MA/CPS/SDR). Rapport de l'Enquête Agricole de Conjoncture (EAC), 2015 - 2016. Mali.
- Ouédraogo D., Kaboré M., Kienou B., 2007. Insécurité alimentaire, vulnérabilité et pauvreté en milieu rural au Burkina : une approche en termes de consommation d'énergie. *Mondes en développement*, 4 (140) : 65 - 84.
- Sogodogo D., Coulibaly B., Coulibaly B.Y., Sacko K., 2016. Impact of mineral fertilizer microdosing on the yield of sorghum in adoption fields of women trained in farmers' field School of Niako in South Sudan Area of Mali. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5, 4, 698 - 704.
- Staatz, J., Kelly, V., Boughton, D., Dembele, N.N., Sohlberg, M., Berthe, A., Skidmore, M., Diarra, C.O., Murekezi, A., Richardson, R., Simpson, B., Perakis, S., Diallo, A.M., Adjao, R., Sako, M., Me-Nsope, N., et Coulibaly, J., 2011. Evaluation du secteur agricole du Mali 2001. Michigan State University, Food Security Group. Rapport. novembre 2011., 261 p.
- Tabo R., Bationo A., Gerard B., Ndjeunga J., Marchal D., Amadou B., Annou G., Sogodogo D., Taonda J.B.S., Hassane O., Maimouna K. D., Koala S., 2007. Improving cereal productivity and farmers' income using a strategic application of fertilizers in West Africa. *In* : Bationo A., Wasma B., Kihara J. & Kimetu J. (eds). *Advances in integrated soil fertility management in Sub-Saharan Africa: challenges and opportunities*. Springer, London, UK : 201 - 208.
- Traoré B., Samaké O., Touré M.S.M., Goïta O., Keita M., Maïga M.S., 2012. Evaluation de l'application de la microdose d'engrais sur la production du mil au Sahel : le cas de la région de Mopti au Mali. *Cahiers d'Economie Rurale du Mali*, n°15, 69 p.
- Traoré, S., Bagayoko, M., Coulibaly, B S., 2018. Amélioration de la gestion de la fertilité des sols et celle des cultures dans les zones sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest: une condition sine qua none pour l'augmentation de la productivité et de la durabilité des systèmes de culture a base de mil.