

Effet de l'application d'engrais solubles NPK et de l'Urée en microdose sur le soja et le maïs au Burkina Faso

SERMÉ Idriss¹, POUYA Mathias B.¹, NIGNAN Iliassou², OUATTARA Korodjouma¹

Résumé

Cette étude a été initiée en 2016 dans l'optique de mieux accompagner l'introduction du soja au Burkina où la problématique de sa fertilisation se pose. Elle a été réalisée en milieu réel dans les provinces de la Sissili et du Nahouri suivant un dispositif en bloc complet dispersé en 2016. Trois types de fumures ont été mis en comparaison sur le soja et sur le maïs : la technique de la microdose, la dose vulgarisée et la pratique paysanne. L'analyse des résultats sur le maïs a montré que la microdose a induit une augmentation significative des rendements de l'ordre de 50 % et 132 % respectivement par rapport à la dose vulgarisée et à la pratique paysanne. Sur le soja, les résultats sont identiques avec des accroissements de rendement de 73 % et de 146 %. Aussi, des résultats de l'analyse des performances économiques, il est ressorti des RV/C de 4 et 3 induit par la microdose pour le maïs respectivement dans la Sissili et le Nahouri et, de 5 pour le soja quelle que soit la province. La technique de la micro-dose combinée aux apports convenables de matière organique pourrait constituer un mode de fertilisation présentant un atout majeur pour l'accroissement des rendements du maïs et du soja.

Mots-clés : Burkina Faso, micro-dose, performance agronomique, performance économique.

Effect of soluble NPK and Urea fertilizers microdosing on soybean and corn in Burkina Faso

Abstract

This study was initiated in 2016 in order to support the introduction of soybeans in Burkina Faso where fertilization is a critical issue. It was carried out in farmer's fields in the Sissili and Nahouri provinces following a dispersed complete block design. Three types of fertility management options were compared on soybean and maize: the microdose technique, the recommended dose and farmer practice. Analysis of results showed that microdose technique induced a significant increase in maize yields of about 50% and 132% respectively compared to the recommended dose and farmer practice. Similar results were observed with soybean, with yield increases of 73% and 146% respectively. Also, from the results of the economic performance analysis, the microdose-induced VCR of 4 and 3 for maize respectively in Sissili and Nahouri, and of 5 for soybeans, regardless of the province. The technique of micro-dose combined with suitable organic inputs could be a sustainable fertility management option to improve maize and soybean yields.

Keywords: agronomic performance, Burkina Faso, economic performance, micro-dose.

¹ Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Burkina Faso

² Institut du Développement Rural, Université Nazi Boni, Bobo Dioulasso

* Auteur correspondant : sermeidriss@yahoo.fr, Cel : 00226 70232198

Introduction

Le Burkina Faso à l'instar des autres parties du monde est confronté aux défis d'accroître la production vivrière pour répondre aux besoins d'une population de plus en plus croissante, tout en préservant l'environnement (KOUAKOU, 2004). Même si des efforts ont été faits, l'agriculture burkinabè demeure peu performante en raison d'un handicap majeur qui est la faible fertilité des sols (BATIONO *et al.*, 2012), accentué par des conditions agro-climatiques défavorables liées à une mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies. Face à cette contrainte majeure limitant la productivité agricole, il est nécessaire d'œuvrer à la mise au point de pratiques agricoles qui augmentent durablement la production alimentaire et les revenus des producteurs, tout en protégeant et en rétablissant l'environnement (FAO, 2010). Dans cette optique, un certain nombre de paquets technologiques a été développé. Malheureusement, des difficultés socio-économiques liées à l'accès en quantité de fumier, de compost, d'engrais minéraux et la main d'œuvre limitent considérablement la mise en œuvre effective de ces paquets technologiques. Pour faire face à ces difficultés, la technique de microdosage des engrais minéraux a été mise au point par les institutions de recherches notamment ICRISAT et ses partenaires, afin d'optimiser l'utilisation efficiente des engrais et d'augmenter de façon substantielle les rendements des cultures et partant le revenu des producteurs. De récentes recherches ont montré que cette technique, encore appelée fertilisation localisée au poquet avec de faibles doses d'engrais (HAYASHI *et al.*, 2007) a permis des accroissements importants de rendements dans différents pays (PALE *et al.*, 2011 ; OKEBALAMA *et al.*, 2017). Au Burkina Faso, la micro-dose sur le sorgho a entraîné une augmentation de gain supérieur à 140 % et de 30 % respectivement par rapport à la pratique paysanne et à la dose recommandée (PALE *et al.*, 2011, OUATTARA *et al.*, 2018). Toutefois, le maïs et le soja ont été identifiés comme des cultures ayant une valeur importante et commerciale. Malgré les politiques agricoles, la productivité de ces cultures demeure faible. Par exemple, les rendements en soja varient de 0,5 à 1 t ha⁻¹ contre un potentiel de 1,5 à 2,5 t ha⁻¹. Ceux du maïs sont compris entre 1,5 à 3,0 t ha⁻¹ avec la pratique des agriculteurs contre une production potentielle de 4 à 6 t ha⁻¹ (SDR, 2004). Améliorer la production de ces cultures constitue un enjeu potentiel dans la sécurité alimentaire et économique du pays. C'est dans ce cadre que s'est inscrite la présente étude, avec l'hypothèse que la micro-dose d'engrais minéral permet de réduire le coût de production et d'améliorer les rendements du maïs et du soja. Les objectifs étaient de déterminer l'effet de l'application de la micro-dose sur les rendements du maïs et du soja, d'évaluer son effet sur les propriétés chimiques du sol, et de déterminer sa rentabilité économique.

I. Matériel et méthodes

1.1. Sites expérimentaux

Les parcelles expérimentales ont été implantées dans les provinces du Nahouri et de la Sissili au Burkina Faso (figure 1).

La province de la Sissili s'étend entre 11° et 12° de latitude Nord, et 1° et 2° de longitude Ouest. Dans cette province l'étude a concerné la commune de Léo, chef-lieu de la province et celle de Bieha, commune rurale située à 31 km du chef-lieu de la province.

Quant à la province du Nahouri, elle est située entre 11° et 11°30' de latitude Nord et 1°40' et 0°40' de longitude Ouest. Dans cette localité, les communes de Pô, chef-lieu de la province et de Tiébébé, commune rurale distante de 37 km de Pô ont été identifiées.

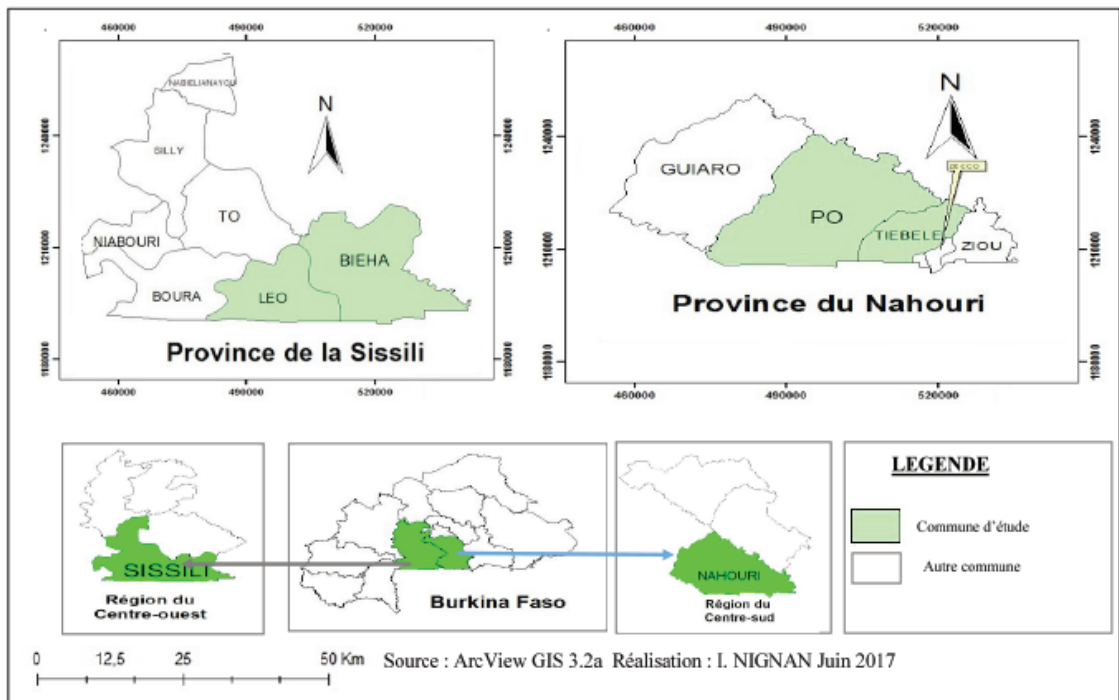


Figure 1. Localisation des quatre zones d'étude.

1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans le cadre de cette étude se compose de variétés de maïs et de soja. La variété de soja *G196* d'un cycle de 110 jours a été utilisée dans les deux provinces l'hybride Komsaya du maïs d'un cycle de 115 jours et la variété Wari d'un cycle de'environ 115 jours ont été utilisés respectivement dans la province de la Sissili et dans le Nahouri.

1.3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un bloc complètement randomisé avec 4 traitements. Les blocs sont dispersés chez les producteurs partenaires. Au total, 16 blocs ont été implantés en milieu paysan. Les traitements mis en comparaison pour espèce (maïs et soja) se composent de :

1. la pratique paysanne ;
2. la dose vulgarisée : elle est de 150 Kg ha⁻¹ de NPK (14-23-14) + 100 Kg ha⁻¹ d'urée (46 %) pour le maïs et de 100 Kg ha⁻¹ de NPK pour le soja ;
3. la micro-dose : elle de 2 g poquet⁻¹ de NPK et d'urée pour chacune des deux cultures (maïs et soja).

Il est à noter que les pratiques paysannes ont fait l'objet de caractérisation et les doses moyennes ont été déterminées après une analyse descriptive avec les logiciels Sphinx Lexica. Les doses moyennes de la pratique paysanne sont de 136,5 kg ha⁻¹ de NPK et 65 kg ha⁻¹ d'urée pour le maïs et de 68,5 kg ha⁻¹ de NPK pour le soja. Les parcelles principales ont une dimension de 1 ha dans la Sissili et de ½ ha dans le Nahouri.

1.4. Échantillonnage et analyse du sol

Les échantillons prélevés dans le cadre de cette étude ont concerné la profondeur 0-20 cm. Ils ont été prélevés en début de saison avant l'implantation des expérimentations et à la récolte. Les prélèvements ont été faits en cinq points de prélèvement suivant la diagonale. Quant aux analyses des sols, elles ont été effectuées au laboratoire Sol-Eau-Plante de Kamboinsé et ont porté sur les paramètres chimiques suivants : Le pH (H₂O) et le pH (KCl), le phosphore assimilable, le carbone total, l'azote total et le potassium total.

1.5. Evaluation des performances économiques des traitements

Une analyse de la rentabilité économique des options de fumures a été réalisée. Pour Deville (1996), la détermination de la productivité de la terre (rapport entre la quantité produite et la quantité investie) et celle du travail (rémunération de la main d'œuvre) constituent des conditions sine qua non pour l'évaluation de l'efficacité d'un processus de production. Ainsi, un ratio de valeur sur coût (RV/C) a été calculé pour identifier le meilleur traitement qui demande peu d'investissement mais qui permet de dégager de marge bénéficiaire nette. En effet, ce RV/C évalue la rentabilité économique des techniques appliquées à travers les composantes de rendement (paille et grains).

1.6. Analyse statistique des données

Les données agro-pédologiques collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel GENSTAT et les rendements sont jugés significativement différents quand le seuil critique de probabilité p est inférieur ou égal à 0,05. Pour les données d'enquêtes, le logiciel Sphinx a été utilisé pour le calcul des moyennes.

II. Résultats

2.1. Caractérisation des pratiques paysannes

Au niveau du maïs, la superficie moyenne exploitée par chaque producteur est de 2,6 ha. Les superficies moyennes emblavées dans les deux provinces sont estimées à 1,45 ha au Nahouri contre 3,7 ha dans la Sissili. La superficie exploitée par ménage en maïs dans la Sissili représente le double de la celle exploitée au Nahouri pour la même spéculation. Pour le soja par contre, la superficie moyenne exploitée est de 0,7 ha au Nahouri et 0,8 ha dans la Sissili (tableau I).

Tableau I. Superficie moyenne par culture et par province.

Cultures	Sissili	Nahouri	Moyenne
Maïs	3,7	1,45	2,6
Soja	0,8	0,7	0,75

L'analyse des résultats de l'enquête ont montré que tous les ménages enquêtés font recours aux engrais minéraux pour la production agricole du maïs et du soja (tableau II). Ces résultats ont révélé en moyenne pour la culture du soja une utilisation de 68 kg ha⁻¹ et de 69 kg ha⁻¹ de NPK

respectivement dans la Sissili et le Nahouri. Pour ce qui est du maïs dans la Sissili, des apports moyens de 142 kg ha⁻¹ de NPK et 67 kg ha⁻¹ d'urée ont été enregistrés, contre 131 kg ha⁻¹ de NPK et 63 kg ha⁻¹ d'urée dans le Nahouri. L'enquête a également révélé que le soja ne reçoit aucun apport d'urée. Par ailleurs, les résultats ont montré qu'aucun apport de fumure organique n'a été effectué durant les trois dernières années d'exploitation avant l'implantation des tests.

Tableau II. Utilisation d'engrais minéraux par culture et par province.

Provinces	NPK		Urée
	Soja	Maïs	Maïs
	----- kg.ha ⁻¹ -----		
Sissili	68	142	67
Nahouri	69	131	63

2.2. Effets des options de fumures testées sur les rendements du maïs et du soja

2.2.1. Effets des options de fumures testées sur les rendements du maïs

L'analyse de variance a montré l'existence d'une différence significative entre les niveaux de fertilisation pour les rendements en grain du maïs dans tous les sites avec des coefficients de variation (CV) allant de 14,6 à 23,7 % suivant les sites (tableau III). Pour la paille, des différences significatives ont été également observées sauf dans les sites de Léo et de Pô. Les CV pour la paille sont compris entre 9 ;7 et 53,6 %.

Tableau III. Effets de la fertilisation sur les rendements moyens en grain et en paille du maïs dans les sites de Léo, Bieha, Pô et Tiébébé.

Traitements	Léo		Bieha		Pô		Tiébébé	
	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille
	----- kg ha ⁻¹ -----							
Pratique Paysanne	1497 ^b	2128	991 ^c	1425 ^b	944 ^b	1222 ^a	909 ^c	1733 ^c
Dose vulgarisée	1769 ^b	1790	1944 ^b	2485 ^{ab}	1775 ^a	2462 ^a	1725 ^b	2275 ^b
Micro-dose	2812 ^a	3228	2731 ^a	3410 ^a	1319 ^{ab}	2178 ^a	2583 ^a	2800 ^a
Probabilité	0,008	0,298	0,001	0,042	0,014	0,069	<0,001	<0,001
CV(%)	23,5	53,6	23,7	38,0	23,1	35,6	14,6	9,7

Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil critique de probabilité inférieur ou égal à 0,05.

Dans la commune de Léo, les rendements en grain du maïs ont varié de 1 497 kg ha⁻¹ pour la pratique paysanne à 2 812 kg ha⁻¹ pour la micro-dose (tableau III). Quant aux rendements en paille, ils ont varié de 1 790 kg ha⁻¹ avec la dose vulgarisée à 3 228 kg ha⁻¹ pour la micro-dose. Les gains additionnels en rendement grain du maïs dus à la technique de la micro-dose sont de l'ordre de

88 % et 59 % par rapport à la pratique paysanne et la dose vulgarisée. Comme l'indique l'ANOVA, les effets des différents traitements sur les rendements en paille ne sont pas significativement différents.

Dans la commune de Bieha, la micro-dose a permis d'obtenir le meilleur rendement en grain (tableau III). Elle est suivie de la fumure vulgarisée. Le plus faible rendement en grain a été obtenu avec la pratique paysanne. Les gains additionnels de rendement en grain de 40 % et de 176 % dus à l'application de la micro-dose, par rapport à la dose vulgarisée et à la pratique paysanne, ont été enregistrés. Comparée à la fumure vulgarisée et à la pratique paysanne, la micro-dose a permis d'obtenir une augmentation de rendement en paille de 37 % et de 139 %, respectivement par rapport à la fumure vulgarisée et à la pratique paysanne. .

Dans la commune de Tiébélé, les rendements en grain varient de 909 kg ha⁻¹ avec la pratique du producteur à 2 583 kg ha⁻¹ avec la microdose (tableau III). Quant aux rendements en paille, ceux-ci varient de 1 733 kg ha⁻¹ pour la dose vulgarisée à 2 800 kg ha⁻¹ pour la microdose. Les gains additionnels de rendement dus à l'application de la microdose sont de l'ordre de 184 % et de 50 % respectivement par rapport à la pratique paysanne et la fumure vulgarisée pour le rendement en grain. Le gain additionnel en rendement paille engendré par la microdose est de 62 % par rapport à la pratique paysanne et de 23 % par rapport à la dose vulgarisée.

Dans la commune de Pô, les résultats de l'étude sur le rendement en grain varient de 944 kg ha⁻¹ pour la pratique du producteur à 1 775 kg ha⁻¹ pour la fumure vulgarisée (tableau III). Concernant la paille, les rendements varient de 2 462 kg ha⁻¹ pour la dose vulgarisée à 1 222 kg ha⁻¹ pour la pratique paysanne. Ces résultats indiquent que les rendements en grain à Pô sont plus élevés avec l'application de la fumure vulgarisée contrairement aux résultats obtenus dans les trois autres communes. Comparée à la pratique paysanne, la fumure vulgarisée a permis une augmentation des rendements en grain de 88 %. Comme l'indique l'ANOVA, les effets des différents traitements sur les rendements en paille ne sont pas significativement différents.

2.2.2. Effets des options de fumures testées sur les rendements du Soja

Les résultats de l'effet agronomique des traitements testés sur les rendements en grains et fanes du soja sont consignés dans le tableau IV.

A Léo, les rendements grains ont varié de 642 kg.ha⁻¹ avec la pratique du paysan (S0) à 1 411 kg.ha⁻¹ avec la microdose (S2) avec un coefficient de variation de 20,9 %. Quant aux rendements en fanes, ils ont variés de 905 kg.ha⁻¹ avec la pratique du paysan (S0) à 1 332 kg.ha⁻¹ pour la microdose (S2) avec un coefficient de variation de 18,8 %. L'ANOVA n'a montré aucune différence statistiquement significative seuil de 5 % pour le rendement en fane. Par contre, sur le rendement en grain, les traitements la pratique du paysan (S0) et la dose vulgarisée (S1) n'ont pas induit une différence significative au même seuil. Ainsi, la pratique paysanne (Mo) et la fumure vulgarisée (S1) ont constitué un groupe homogène. la microdose (S2) a été statistiquement différent de ce groupe avec une probabilité de 0,002. Les accroissements de rendement dus à l'application de la microdose (S2) sont de l'ordre de 120 % et 46 % comparativement à la pratique paysanne (Mo) et à la fumure vulgarisée (S1) pour le rendement en grain et de l'ordre de 47 % et 15 % comparés respectivement à la pratique paysanne (So) et à la fumure vulgarisée (S1) pour le rendement en fane.

Tableau IV. Rendements moyens en grains et fanes du soja (kg.ha⁻¹) des traitements.

Traitements	Rendements (kg.ha ⁻¹)							
	Sissili				Nahouri			
	Léo		Bieha		Pô		Tiébélé	
	grain	fane	grain	fane	grain	fane	grain	fane
Pratique paysanne	642 ^b	905	655 ^c	819 ^b	658 ^c	603 ^b	886 ^b	889 ^b
Dose vulgarisée	965 ^b	1159	1040 ^b	1128 ^{ab}	914 ^b	1090 ^a	1071 ^b	1187 ^a
Micro-dose	1411 ^a	1332	1784 ^a	1460 ^a	1280 ^a	1241 ^a	1339 ^a	1267 ^a
Probabilité	0,002	0,055	<0,001	0,021	<0,001	0,023	0,003	0,010
CV (%)	20,9	18,8	15,7	22,8	16,1	28,0	12,0	12,5

Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil critique de probabilité inférieur ou égal à 0,05.

A Bieha, les rendements grains ont varié de 655 kg.ha⁻¹ (S0) à 1 784 kg.ha⁻¹ (S2) avec un coefficient de variation de 15,7 %. Quant aux rendements en fanes, ils ont variés de 819 kg.ha⁻¹ pour la fumure vulgarisée (S1) à 1 460 kg.ha⁻¹ pour la microdose (S2) avec un coefficient de variation de 22,8 %. L'ANOVA a montré que les traitements ont eu un impact très hautement significatif ($p = 0,001$) sur le rendement en grains. Par contre, sur le rendement en fane, elle a indiqué que la pratique paysanne (So) et la fumure vulgarisée (S1) n'ont pas été statistiquement différents ; de même que la fumure vulgarisée (S1) et la microdose (S2). Cependant, la pratique paysanne (So) a été significativement différente de la microdose (S2) avec une probabilité de 0,02 au seuil de 5 %. Les surplus de rendement induits par la microdose (S2) sont de l'ordre de 172 % et 72 % par rapport à la pratique paysanne (So) et à la fumure vulgarisée (S1) pour le rendement en grain. Par contre, pour le rendement en fane, ces accroissements sont de l'ordre de 78 % et 29 % comparés respectivement à la pratique paysanne (So) et à la fumure vulgarisée (S1).

A Pô, la microdose (S2) a donné le meilleur rendement en grain (1280 kg.ha⁻¹). Il est suivi de fumure vulgarisée (S1) avec un rendement grain de 914 kg.ha⁻¹. Le plus faible rendement (658 kg.ha⁻¹) a été obtenu avec la pratique paysanne (So). Les coefficients de variation se situent entre 16,1 et 28 % pour le rendement en grain et fane, respectivement. Ainsi, des surplus de rendement dus à la microdose (S2) de 139 % et de 37 % par rapport respectivement à la fumure vulgarisée (S1) et à la pratique paysanne (So) ont été obtenus. Pour le rendement en fane, le même ordre de classement a été obtenu avec des valeurs de 1 241 kg.ha⁻¹, 1 090 kg.ha⁻¹ et de 886 kg.ha⁻¹, respectivement pour la microdose (S2), la fumure vulgarisée (S1) et à la pratique paysanne (So). A ce niveau, la microdose (S2) a permis d'obtenir une augmentation de rendements de 40 % et de 95 %, comparée respectivement aux traitements la fumure vulgarisée (S1) et à la pratique paysanne (So). L'ANOVA a montré une différence très hautement significative pour le rendement en grain entre les traitements au seuil de 5 %. Quant au rendement en fane, la fumure vulgarisée (S1) et la pratique paysanne (So) n'ont pas été différents statistiquement. Dans ce groupe (S0, S1) homogène, les traitements pris individuellement ont été statistiquement différents ($p = 0,0023$) de la microdose (S2).

Enfin à Tiébélé, la microdose a donné le meilleur rendement en grain (1 339 kg.ha⁻¹). Il est suivi de la dose vulgarisée (1071 kg.ha⁻¹). Le plus faible rendement (886 kg.ha⁻¹) a été obtenu avec la pratique paysanne (So). Les coefficients de variation se situent entre 12 et 12,5 % pour respec-

tivement les rendements en grain et en fane. Ainsi, des surplus de rendement dus à la microdose (S2) de 25 % et de 51 % par rapport respectivement à la fumure vulgarisée (S1) et à la pratique paysanne (So) ont été obtenus. Pour le rendement en fane, le même ordre de classement a été obtenu avec des valeurs de 1267 kg.ha⁻¹, 1187 kg.ha⁻¹ et de 889 kg.ha⁻¹ respectivement pour la microdose (S2), la fumure vulgarisée (S1) et la pratique paysanne (So). A ce niveau, la microdose (S2) a permis d'obtenir une augmentation de rendements de 7 % et de 43 %, comparée respectivement à la fumure vulgarisée (S1) et à la pratique paysanne (So). L'ANOVA a montré que la fumure vulgarisée (S1) et la pratique paysanne (So) n'ont pas induit de différences statistiques. Ce groupe (S0, S1) homogène est cependant statistiquement différent du traitement la pratique de la microdose (S2) au seuil de 5 %. Pour le rendement fane, on note une différence significative entre le groupe homogène constitué par les traitements options de fumure en dose vulgarisée, la microdose et la pratique paysanne (So).

2.3. Effets des traitements sur les propriétés chimiques des sols

Les valeurs moyennes des pH-eau sont comprises entre 5,18 et 6,54 (tableau V). Quant à celles du pH-KCl, elles varient de 4,78 à 5,98, quels que soient la culture et le traitement. A l'exception des communes de Léo et Pô pour la culture de maïs et celle de Bieha pour la culture du soja, les résultats n'ont pas indiqué une différence statistiquement significative entre les traitements aussi bien pour le pH-eau que pour le pH-KCl entre les traitements (tableau V). Les valeurs moyennes du carbone ont varié de 6,05 g kg⁻¹ à 7,16 g kg⁻¹ pour le maïs et de 5,84 g kg⁻¹ à 7,46 g kg⁻¹ pour le soja. Les teneurs moyennes en azote total (N total) sont comprises entre 0,38 g kg⁻¹ et 0,63 g kg⁻¹ et entre 0,44 g kg⁻¹ et 0,54 g kg⁻¹ respectivement pour le maïs et le soja. Le taux de matière organique (MO) est compris entre 1% et 1,29 % avec un rapport carbone/azote (C/N) oscillant entre 11 et 14 indépendamment des cultures. Par contre, plus de 60 % ont un rapport de C/N situé entre 11 et 12,65. D'une manière générale, indépendamment de la culture et de la commune, l'analyse de variance a montré que les traitements n'ont pas induit de réponse statistiquement différente pour le carbone, N total, le potassium total, le phosphore assimilable, la MO et le rapport C/N. Sur le N total, les valeurs moyennes les plus élevées ont été obtenues avec le traitement de la dose vulgarisée en ce qui concerne la culture du maïs. Par contre, sur la culture du soja les valeurs moyennes les plus élevées sont obtenues avec le traitement de la micro-dose. Pour ce qui est du potassium total et du phosphore assimilable, les valeurs moyennes les plus élevées ont été enregistrées par le traitement de la dose vulgarisée et ce quel que soit la culture.

Tableau V. Valeurs moyennes des paramètres chimiques du sol après la culture du maïs.

Communes	Traitement	pHeau	pHKCl	N-total	P-ass	K-total	Carbone	MO	C/N
				g/kg	mg/kg	g/kg	g/kg	%	
Léo	M1	6,17	5,67	0,54	3,7	0,95	6,46	1,29	11,96
	M2	5,94	5,42	0,48	2,67	1,29	6,03	1,04	12,56
	Probabilité	0,181	0,161	0,208	0,501	0,59	0,183	0,183	0,901
	CV (%)	3,5	4,1	19,9	63,6	76,8	19,9	19,9	6,5
Bieha	M1	5,70 ^a	5,40 ^a	0,45	9,04	1,59	5,82	1	12,93
	M2	5,18 ^b	4,78 ^b	0,51	3,06	2,19	6,91	1,19	13,54
	Probabilité	0,109	0,411	0,112	0,437	0,533	0,343	0,343	0,524
	CV (%)	4,7	5,9	16,1	59,2	65,2	17,9	17,9	55
Pô	M1	5,7	5,40 ^a	0,49	9,04	1,59	5,6	1	12,17
	M2	5,28	4,78 ^b	0,56	3,06	2,19	5,8	1,19	10,36
	Probabilité	0,052	0,027	0,466	0,077	0,403	0,203	0,201	0,839
	CV(%)	4,5	5,9	23,4	65,4	50	16,9	16,9	10
Tiébélé	M1	6	5,42	0,48	6,67	1,69	5,4	0,97	11,25
	M2	5,38	4,8	0,49	3,97	2,91	5,3	1,01	10,82
	Probabilité	0,203	0,118	0,975	0,602	0,18	0,934	0,934	0,993
	CV(%)	8,7	7,5	45,6	76,5	40	46,3	49,3	11,6

M1 : la dose vulgarisée de maïs (150 Kg.ha⁻¹ de NPK + 100 Kg.ha⁻¹ d'Urée) ; M2 : la micro-dose de maïs (2 g.poquet⁻¹ de NPK et d'Urée).

Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil critique de probabilité inférieur ou égal à 0,05.

2.4. Evolution des teneurs en éléments nutritifs suivant les traitements

Les résultats sont présentés dans les tableaux VI. Ils sont issus de la différence entre les valeurs de N, P, K, C et pH (eau et KCl) après culture et avant culture.

Les résultats ont montré que tous les traitements n'améliorent pas les teneurs de phosphore assimilable et du carbone organique. Tandis qu'ils améliorent les teneurs de potassium assimilable. Par ailleurs, on constate que tous les traitements ont entraîné une diminution de la valeur moyenne des pH (eau et KCl) et par conséquent, une augmentation de l'acidité des sols après culture.

Tableau VI. Variation des teneurs en éléments chimiques du sol sous culture.

Cme	Trts	pH eau			N-total			K-total			P-assimilable			Carbone		
					g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			g kg ⁻¹		
		In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ
Pô	M1	5,9	5,7	-0,2	0,4	0,46	0,06	1,54	1,99	0,45	9,23	5,14	-4,1	6,3	6,2	-0,1
	M2	5,9	5,3	-0,6	0,4	0,43	0,03	1,54	1,82	0,28	9,23	7,12	-2,1	6,3	6,15	-0,15
Tiébébé	M1	6,2	6,0	-0,2	0,5	0,45	0,05	1,2	3,41	2,21	9,6	9,2	-0,4	6,1	5,16	-0,94
	M2	6,2	5,4	-0,8	0,5	0,48	0,02	1,2	2,77	1,57	9,6	7,8	-1,8	6,1	5,05	-1,05

M1 : la dose vulgarisée de maïs (150 Kg.ha⁻¹ de NPK + 100 Kg.ha⁻¹ d'Urée) ; M2 : la micro-dose de maïs (2 g.poquet⁻¹ de NPK et d'Urée).

Cme = Commune, Trts = traitements, In : Initiale ; Fn : Finale ; Δ : Variation

2.5. Performance agronomique et économique des traitements sur les cultures

Pour la culture du maïs, la microdose a une valeur moyenne de Ratio Valeur/Coût (RV/C) supérieur à 1 (tableau VII) dans toutes les communes. A l'exception de Pô, toutes les communes ont une valeur de RV/C pour la microdose supérieure à celle de la dose vulgarisée. On note la valeur la plus élevée de RV/C de la microdose (4.11) dans la commune de Bieha et la plus faible (1,17) dans celle de Pô (tableau VII). Quant au revenu partiel, dans la commune de Bieha, de Pô, et de Tiébébé, toutes les valeurs sont positives. Ainsi, les coûts engendrés par les traitements sont en général inférieurs aux gains additionnels de production. Par contre, dans la commune de Léo, la fumure vulgarisée a un revenu partiel négatif.

L'analyse globale des moyennes de chaque traitement à l'échelle communale aboutit à ce classement quand on considère les bénéfices bruts à l'hectare : Microdose > Dose vulgarisée > Pratique paysanne (tableau VII). Ce même classement est aussi constaté avec les bénéfices bruts ha⁻¹.

Tableau VII. Performance économique moyenne des traitements sur le maïs.

Communes	Traitements	Valeur	Coût	Revenu	RVC	Bénéfice	Bénéfice
		additionnelle Total	additionnel Fcfha.ha ⁻¹	partiel Fcfha.hr ⁻¹		Brut	Brut
Léo	M1	36200	81500	-45300	0,45	136719	895
	M2	173175	43875	129300	3,95	300938	1611
Bieha	M1	127605	81500	46105	1,57	158469	978
	M2	180180	43875	136305	4,11	290656	1324
Pô	M1	113795	81500	32295	1,40	80344	639
	M2	51355	43875	7480	1,17	171125	1152
Tiébébé	M1	106336	81500	24836	1,30	131775	1023
	M2	160761	43875	116886	3,66	272167	1657

¹ d'engrais NPK et 300 francs CFA kg⁻¹ d'Urée ; 190 francs CFA kg⁻¹ de grains de soja et 25 francs CFA kg⁻¹ de fane ; 125 francs CFA kg⁻¹ de grains de maïs et 8 francs CFA kg⁻¹ de paille coûts d'opportunité de l'application de la micro-dose sur 1 ha = 4 500 francs CFA ; la micro-dose revient à 62,5 kg⁻¹ d'engrais NPK et d'Urée. M1 : Dose vulgarisée, M2 : Micro-dose.

Lorsqu'on considère la performance économique des traitements sur le soja, le constat sur le RV/C est similaire à celui fait sur la culture du maïs. Par contre, le revenu partiel est positif quelle que soit la commune considérée (tableau VIII). Dans le même tableau, les résultats indiquent que la technique de la microdose a engendré la valeur additionnelle totale à l'hectare la plus élevée quelle que soit la commune.

En ce qui concerne les bénéfices bruts ha⁻¹, indépendamment des communes, la microdose a permis une valeur moyenne plus élevée. Elle est suivie de la dose vulgarisée. La valeur la plus faible de bénéfices bruts ha⁻¹ a été observée avec la pratique paysanne. Ce même classement est observé avec les bénéfices bruts.h⁻¹ (tableau VIII) obtenus sur le soja.

Tableau VIII. Performance économique moyenne des traitements sur le soja.

Communes	Technique	Valeur additionnelle Total	Coût additionnel	Revenu partiel	RVC	Bénéfice Brut F cfa.ha ⁻¹	Bénéfice Brut Fcfa.h ⁻¹
Léo	M1	67720	35000	32720	1,93	121343	867
	M2	118785	25125	93660	4,73	237287	1210
Bieha	M1	80875	35000	45875	2,31	158469	943
	M2	173535	25125	148410	6,91	290656	1303
Pô	M1	60815	35000	25815	1,74	131674	947
	M2	112630	25125	87505	4,48	212546	1057
Tiébélé	M1	42600	35000	7600	1,22	131775	873
	M2	95520	25125	70395	3,80	272167	1418

M1 : Dose vulgarisée, M2 : Micro-dose

III. Discussion

L'utilisation des engrais minéraux dans les deux zones d'études est encore faible par rapport à la dose recommandée par la recherche. Les faibles doses des engrais apportés d'une manière générale semblent être liées d'une part à la non disponibilité des engrais minéraux et d'autre part au faible niveau des revenus des producteurs enquêtés. Par ailleurs, les doses apportées sont nettement supérieures à celle de la micro-dose qui par contre permet des rendements plus élevés. Cela implique que, une utilisation rationnelle des quantités d'engrais minéraux à travers un apport localisé dans les poquets permettrait non seulement de réduire la quantité d'engrais, mais aussi d'augmenter les rendements des cultures.

L'examen des résultats obtenus au cours de cette étude montre que le microdosage d'engrais minéral a amélioré le rendement des cultures. L'application de faibles doses d'engrais minéraux sur le maïs et le soja au moment des semis s'est traduite par une utilisation efficiente de ces engrais. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par AUNE *et al.* (2007), Tovihoudji *et al.* (2017) sur le mil et le sorgho, et ceux d'OKEBELAMA *et al.* (2016) sur le maïs. Les accroissements de rendement aussi bien sur le maïs que sur le soja lié à la pratique de la micro-dose s'expliquent par le fait que l'engrais apporté au bon moment de manière localisée dans les poquets

est utilisé de façon efficiente par la plante. Par contre, les variations observées entre les gains supplémentaires de rendement peuvent s'expliquer d'une part par le niveau de la fertilité des sols lié aux précédents culturaux des champs et le type de sol et d'autre part par l'inégale répartition des pluies dans les différents sites et des effets nocifs des engrais en cas d'alimentation hydrique insuffisante.

A l'exception du pH, du phosphore et du carbone qui ont connu des baisses pour tous les traitements (taux de variation négatif), les résultats de cette étude ont révélé de façon générale que la majorité des paramètres physicochimiques du sol mesurés après la culture a connu une augmentation comparativement aux valeurs initiales. La baisse du pH observée après l'apport des engrais chimiques corrobore les résultats de Kaho *et al.* (2011). Ceux de Uyo *et al.*, (2000) avaient également révélé l'effet acidifiant des engrais chimiques sur les sols au Nigeria. Les résultats sur la baisse du phosphore assimilable sont liés à la faible teneur des sols en élément phosphore probablement due à l'absence d'apport de fumure dans les champs pendant les deux ans avant l'implantation des tests. Ces observations s'accordent avec celles de Giroux et Lemieux (2000) qui avaient indiqué que l'exploitation d'une parcelle pendant 3 ans, sans apport de fumure à base de phosphore engendrait une forte réduction de la teneur en phosphore du sol d'environ 35 kg ha⁻¹. La baisse de la teneur en carbone du sol s'explique par le faible taux de la matière organique du sol combiné à l'effet acidifiant des engrais minéraux. Ces observations corroborent ceux de Sermé *et al.* (2015) qui ont aussi montré une diminution du carbone organique du sol après apport des fertilisants minéraux. Cependant, elles sont contraires à celles de Rabi (2013) qui, après ses travaux sur le sésame avec des doses croissantes de 0.5, 1 et 1.5 a souligné un effet positif des traitements sur le carbone qui s'explique par l'effet combiné de la fertilisation organique et minérale.

Des analyses agronomique et économique des différents traitements, il ressort que la micro-dose engendre les RV/C les plus élevés par rapport à ceux de la dose vulgarisée. Ainsi elle est la pratique de fertilisation qui valorise le mieux les efforts du producteur comparativement à la dose vulgarisée. Cela peut s'expliquer par de la réduction des coûts d'achat des engrais nécessaires à la production et des accroissements des rendements obtenus. Ces observations sont en accord avec celles de Taonda *et al.* (1993), qui ont indiqué que le rapport valeur/coût de la micro-dose pouvait varier de 2 à 7, selon les cultures et l'année au Burkina Faso. Elles sont également en accord avec celle d'AUNE *et al.* (2007), Saba *et al.* (2017) et Somda *et al.* (2017) qui ont indiqué qu'avec des faibles doses d'engrais minéraux de 0.3g poquet⁻¹ soigneusement appliquées, le meilleur ratio valeur-coût (RV/C) pouvait être obtenu comparativement à la dose de 6 g poquet⁻¹.

Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que la technique de micro-dose augmente de façon significative les rendements du maïs et du soja. Dans les conditions de cet essai, la technique présente un grand potentiel pour accroître le revenu des producteurs, mais les faibles quantités d'engrais minéraux apportées ne permettent pas de gérer durablement la capacité productive des terres. De ce fait, dans une perspective de gestion intégrée et durable des ressources naturelles, il serait nécessaire de veiller à la restitution des éléments nutritifs exportés par des amendements organiques et de coupler à cette pratique le système de warrantage afin de faciliter l'accès des producteurs aux micro-crédits pour une meilleure adoption de la technique. Aussi la création de boutiques d'intrants à proximité des producteurs serait un moyen de rendre les engrais plus accessibles à ces producteurs.

Références bibliographiques

- ABDOU A., KOALA S., BATIONO A., 2012.** Long term soil fertility trials in Niger, West Africa. 20 p
- AUNE JB., DOUMBIA M., BERTHE A., 2007.** Microfertilizing sorghum and pearl millet in Mali: Agronomic, economic and social feasibility. *Outlook Agric.* 36(3):199-203. *Azadirachta* and *Parkia* species on the productivity of early maize, *Nigerian Journal of*
- BAGAYOKO M., MAMAN N., PALE S., SIRIFI S. TAONDA S.JB., TRAORE S., & MASON S.C., 2011.** Microdose et N et P taux d'application d'engrais pour le millet perlé en Afrique de l'Ouest. *African Journal of Agricultural Research* vol. 6, no. 5, pp. 1141-1150.
- DELVILLE PL., 1996.** Gérer la fertilité des terres dans les pays du sahel. *Diagnostics et conseils aux paysans*. CTA-GRET. Collection << le point sur >> 397p.
- FAO., 2010.** Sourcebook on Climate-Smart Agriculture, Forestry and Fisheries.
- GIROUX M. et LEMIEUX N., 2000.** Effets de la fertilisation N, P et K et leurs interactions sur le rendement d'une prairie à dominance de mil (*Phleum Pratense* L.), la teneur en éléments nutritifs de la récolte et l'évolution de la fertilité des sols. *Agrosol* vol. 11, no. 1 8p
- HAYASHI K., ABDOULAYE T., GERARD B., BATIONO A., 2007.** Evaluation of application timing in fertilizer micro-dosing technology on millet production in Niger, West Africa. *Nutr Cycl Agroecosyst* 80, 257–265.
- KAHO F., YEMEFACK M., FEUJIO P. T. et TCHANTCHAOUANG J. C., 2011.** Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun.
- KOUAKOU CK., 2004.** Diversité génétique des variétés traditionnelles de niébé (*Vigna unguiculata* (L.)Walp.) au Sénégal .DEA de Biologie végétale à l'Université cheikh Anta Diop de Dakar, 50p.
- LOMPO F., 2009.** Effets induits des modes de gestion de la fertilité des sols sur les états du phosphore et la solubilisation des phosphates naturels sur deux sols acides du Burkina Faso, Thèse de doctorat, université de Cocodyl, 254p.
- OKEBALAMA B. C., IBRAHIM A., SAFO E Y., YEBOAH E., ABAIDOO R C., LOGAH V. & MONICA U. I., 2017.** Fertilizer micro-dosing in West African low-input cereals cropping: Benefits, challenges and improvement strategies. *African Journal of Agricultural Research*, 12(14), 1169-1176.
- OUATTARA B., SOMDA B. B., SERME I., TRAORE, A., PEAK D., LOMPO F., ... & BATIONO A., 2018.** Improving Agronomic Efficiency of Mineral Fertilizers through Microdose on Sorghum in the Sub-arid Zone of Burkina Faso. In *Improving the Profitability, Sustainability and Efficiency of Nutrients Through Site Specific Fertilizer Recommendations in West Africa Agro-Ecosystems* (pp. 241-252). Springer, Cham.
- OUATTARA K., ABDOU A. & KOALA S., 2009.** «microdosage des engrais pour la prospérité des agriculteurs pauvres en ressources: une success story »dans« l'augmentation de la productivité et la durabilité des systèmes de cultures pluviales des petits agriculteurs pauvres: Actes du Programme défi du CGIAR sur l'eau et l'atelier international de l'alimentation sur pluviales systèmes culturaux, Tamale, Ghana, 22 -25 Septembre 2008, eds E Humphreys & Bayot Le Programme défi du CGIAR RS sur l'eau et de l'Alimentation, Colombo, Sri Lanka pp. 269-279p.
- RABI H M L., 2013.** Effet de la fertilisation par microdose sur la productivité de deux variétés de Sésame (*Sesamum indicum* L.), la variation des teneurs et les bilans partiels des nutriments. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 90 p.
- SABA F., TAONDA S J B., SERME I., BANDAOGO A A., SOURWEMA A, & KABRE A., 2017.** Effets de la microdose sur la production du niébé, du mil et du sorgho en fonction la toposéquence. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5), 2082-2092.
- SDR. 2004.** Stratégie de Développement Rural à l'horizon 2015, 99 p.
- SERME I., OUATTARA K., LOGAH V., TAONDA J B., PALE S., QUANSAH C., & ABAIDOO C R., 2015.** Impact of tillage and fertility management options on selected soil physical properties and sorghum yield. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 11541170

SOMDA B B., OUATTARA B., SERME I., POUYA M B., LOMPO F., TAONDA, S J B., & SEDOGO P M., 2017. Détermination des doses optimales de fumures organo-minérales en microdose dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2), 670-683

TABO R., BATIONO A., DIALLO M. K., HASSANE O. et KOALA S., 2006. Fertilizer microdosing for the prosperity of small-scale farmers in the Sahel: Final Report. Global theme on Agroecosystems Report n°23. PO Box 12404, Niamey, Niger. International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics. 28 p.

TABO R., BATIONO A., HASSANE O., AMADOU B., FOSU M., SAWADOGO-KABORE S., FATONDI D., OUATTARA K., ABDOU A. et KOALA S., 2009. Microdosage des engrais pour la prospérité des agriculteurs pauvres en ressources : un succès historique dans l'augmentation de la productivité et la durabilité des systèmes de cultures pluviales des petits agriculteurs pauvres: Actes du Programme défi du CGIAR sur l'eau et l'atelier international de l'alimentation sur pluviales systèmes culturaux, Tamale, Ghana, , eds E Humphreys et Bayot. Le Programme défi du CGIAR RS sur l'eau et de l'Alimentation, Colombo, Sri Lanka pp. 269-279p.

TAONDA S J B., COMPAORE E. et ZONGO N. 2015. Guide de Formation en Technique de Microdose, 40p

TOVIHOUDI P G., AKPONIKPE P I., AGBOSSOU E K., BERTIN P., & BIELDERS C L., 2017. Fertilizer microdosing enhances maize yields but may exacerbate nutrient mining in maize cropping systems in northern Benin. *Field Crops Research*, 213, 130-142.

UYO. Y E O. et ELEMOKA A., 2000. Effect of inorganic fertilizer and foliage of *Azadirachta* and *Parkia* species on the productivity of early maize, Nigerian Journal of Soil Research, 17-22p.