



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Effets des fumures organo-phosphatées sur les caractéristiques du sol et les rendements du sorgho, du maïs et du niébé dans la région de l'Est du Burkina Faso

Bouinzenwendé Mathias POUYA*, Mariam Dohan SOMA, Zacharia GNANKAMBARY et Innocent Delwendé KIBA

Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) du Burkina Faso, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (CNRST), 04 BP 8645, Ouagadougou 04, Burkina Faso.

**Auteur correspondant ; E-mail : pouyabmathias@gmail.com*

Received: 14-07-2022

Accepted: 17-10-2022

Published: 31-12-2022

RESUME

L'utilisation de la fertilisation organo-phosphatée s'inscrit comme un moyen d'accroissement durable des productions agricoles dans un contexte de carence quasi générale des sols tropicaux en phosphore et la faible teneur en matière organique de ses sols. L'objectif de cette étude est de déterminer des options technologiques de gestion durable de la fertilité des sols adaptées aux principales cultures de la région de l'Est du Burkina Faso. A cet effet, des dispositifs ont été mis en place en milieu réel afin d'établir l'intérêt de ces combinaisons de fumures. L'importance agro-pédologique de la fumure organo-minérale (5t/ha fo +50Kg/ha Urée sur sorgho ; 5t/ha fo+100kg/ha NPK sur niébé) est ressortie dans cette étude. La pertinence des formules de fumures organo-phosphatées (5t/ha fo+200Kg/ha BP+ 50Kg/ha Urée et 5t/ha fo+200Kg/ha BP+ 50Kg/ha Urée+150Kg/ha NPK sur sorgho et mil et ; 6t/ha fo+200Kg/ha BP+ 100Kg/ha Urée et 6t/ha fo+200Kg/ha BP+ 100Kg/ha Urée+150Kg/ha NPK sur maïs) à accroître les rendements et à améliorer le statut organique et/ou la disponibilité (N, P, K) est démontrée à travers ces tests. Les résultats d'analyses chimiques ont mis en évidence l'efficacité des combinaisons organo-phosphatées d'une part, et d'autre part le rôle incontournable de la fumure organo-minérale dans l'amélioration de la fertilité chimique (pH,C, P, et modérément N,K) des sols. Les fumures à base de phosphate naturel permettent la recapitalisation du phosphore total du sol. La combinaison (BP+NPK) semble être une formule d'intérêt agronomique et pourrait servir de base à la fabrication d'engrais.
© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Fumures, organo-phosphatés, sol, cultures, Burkina Faso.

Effects of organo-phosphate fertilizers on soil characteristics and yields of sorghum, maize and cowpea in the Eastern region of Burkina Faso.

ABSTRACT

The use of organic and phosphorus fertilization is necessary for sustainable agricultural production in subsaharan Africa where most of the soil are characterized by low phosphorus and organic matter content. The objective of this study is to determine technological options for the sustainable management of soil fertility

adapted to the main crops of the eastern region of Burkina Faso. On farm experiments have been setup at Peninga and Kotchari in the East of Burkina Faso. The agro-pedological importance of organo-mineral manure (5t / ha fo + 50Kg / ha Urea on sorghum; 5t / ha fo + 100kg / ha NPK on cowpea) emerged in this study. The relevance of the organo-phosphate manure formulas (5t / ha fo + 200Kg / ha BP + 50Kg / ha Urea and 5t / ha fo + 200Kg / ha BP + 50Kg / ha Urea + 150Kg / ha NPK on sorghum and millet and; 6t / ha fo + 200Kg / ha BP + 100Kg / ha Urea and 6t / ha fo + 200Kg / ha BP + 100Kg / ha Urea + 150Kg / ha NPK on maize) to increase yields and improve organic status and / or availability (N , P, K) is demonstrated through these tests. The results of chemical analyzes have highlighted the relevance of organo-phosphate combinations on the one hand, and on the other hand the essential role of organo-mineral manure in improving chemical fertility (pH, C, P, and moderately N, K) soils. Fertilizers based on natural phosphate allow the recapitalization of total soil phosphorus. The results also suggest that the combined application of phosphate rock and NPK fertilizer may be of agronomic interest and could serve as a basis for fertilizer manufacture

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Fertilizers, organo-phosphates, soil, crops, Burkina Faso.

INTRODUCTION

Au Burkina Faso, l'agriculture se caractérise par sa faible productivité qui s'explique en grande partie par l'adversité du climat et la faible teneur en éléments nutritifs du sol (Dabré, 2011 ; Herrmann et al., 2013 ; Sermé et al., 2016 ; Bougma et al., 2018). Dans les pays sahéliers de l'Afrique de l'Ouest en particulier, le phosphore est l'élément nutritif le plus limitant des rendements agricoles . Les teneurs en phosphore total dans les sols non cultivés sont faibles et généralement inférieures à 200 mg /Kg (Ouandaogo et al., 2016 ; Dabré et al., 2017 ; Somé et al., 2015). La découverte puis l'exploitation à l'échelle semi-industrielle des gisements de phosphates naturels de la région sud-est du Burkina Faso (Arly, Kodjari, Aloub Djouana), les crises énergétiques et alimentaires ont nécessité de la recherche agronomique la réalisation de travaux approfondis orientés sur la valorisation agricole des ressources locales, en particulier sur la substitution totale ou partielle des sources de phosphore importées par les phosphates naturels (Ouandaogo et al., 2016 ; Diop et al., 2019 ; Pouya et al., 2020). Des conditions de leur valorisation agricole directe ou après des techniques d'amélioration de leur solubilité (acidifications partielles, méthodes microbiologiques par les organismes solubilisateurs de phosphates et / les rhizobiums stimulateurs de la croissance des plantes , etc;) ont fait l'objet de nombreux travaux de recherches et d'études d'adoption (Mohcine et al., 2015; Ouandaogo et al., 2016;

Diop et al., 2019). D'autre part, les sols agricoles du Burkina sont dans leur majorité des sols ferrugineux tropicaux caractérisés par leur faible teneur en matière organique dont les teneurs sont généralement inférieures à 2 p.c. La matière organique est généralement considéré comme l'indicateur de qualité des sols et de l'agriculture durable le plus pertinent (Ouédraogo et al., 2014 ; Roose et al., 2017 ; Katengeza et al., 2019). L'objectif de cette étude est de déterminer des options technologiques de gestion durable de la fertilité des sols adaptées aux principales cultures de la région de l'Est du Burkina Faso.

MATERIEL ET METHODES

Description du site

L'étude a été conduite dans les communes rurales de Kotchari (11°50'22'' de latitude Nord, et 1°54'59'' de longitude Est) et Peninga situés dans la province de la Tapoa (Kuela, 2000 ; DRED/MED, 2004). Les sols dans ces sites sont de type ferrugineux tropical avec une texture sablo-argileux. Cette province est localisée dans la zone agro-climatique sud-soudanienne du Burkina Faso (Fontès et Guinko, 1995). La pluviométrie moyenne annuelle est de 880 mm et les températures varient entre 18° à 40°C. La province de la Tapoa dispose d'importantes ressources naturelles notamment en terres cultivables, en formations végétales et en zones de pâturages (partie sud). Ces ressources demeurent à ce jour relativement bien préservées du fait d'une

faible densité de quatre (04) habitants/km² (Kuela, 2000 ; Guinko, 1984).

Matériel végétal

Les cultures utilisées sont le sorgho (Kapelga) à Pentinga et le maïs (espoir) et le niébé (KVX61-1) à Kotchari. La variété Kapèlga de Sorgho a un cycle semis-maturité de 90-100 jours et dont le rendement potentiel est de 2,8 t/ha ; le maïs Espoir, un cycle moyen de 97 jours et un rendement potentiel de 6,5 t/ha et le niébé avec un cycle de 70 jours et un rendement d'environ 1,5 t/ha.

Fertilisants

Trois types d'engrais ont été utilisée : le NPKSB (14-23-14-6-1) ; l'urée (%) et le Burkina Phosphate (BP) ou phosphates naturels. Les phosphates naturels utilisés proviennent du gisement de Kodjari, localisé dans la région Est du Burkina et contiennent en moyenne 25% de P₂O₅ (dont seulement 0,03% soluble dans l'eau) et 35% de CaO.

Dispositif d'étude

Les dispositifs sont un ensemble de blocs dispersés en milieu paysan chez des producteurs. A Pentinga, le dispositif expérimental est composé de cinq parcelles élémentaires qui ont été délimitées par bloc. Les formules de fumure ont été appliquées de manière randomisée aux parcelles. Les dimensions des parcelles sont de 15 m × 15 m. Les traitements ont été répétés dix 10 fois.

A Kotchari, le dispositif mis en place se compose de huit parcelles (08) élémentaires délimitées en bloc. Ces huit (08) parcelles élémentaires sont constituées de quatre (04) parcelles de maïs et de quatre (04) parcelles de niébé. Les formules de fumure ont été appliquées de manière randomisée aux parcelles. Les dimensions des parcelles sont de 30 m × 15 m. Les parcelles sont séparées par des allées de 1 m. Les traitements ont été répétés dix fois.

Les formules de fumures sont indiquées dans le Tableau 1.

Conduite de la culture

Les cultures ont été semées aux écartements de 80 cm × 40cm, pour le sorgho,

le maïs et le niébé. Le semis de celles-ci a été fait à raison de 3 à 4 grains par poquet. Un démariage à 2 plants par poquet a été opéré au premier sarclage. La parcelle du producteur a été gérée selon le producteur. Les rendements grains et pailles ont été évalués.

L'urée (46% N) a été apporté en deux fractions dont la première moitié 15 jours après semis (JAS) suivie d'un enfouissement par sarclage manuel. La deuxième moitié a été apportée 45 JAS suivie d'un buttage. Le Burkina phosphate (26,3%P₂O₅) BP, le NPK (14-23-14) et la matière organique sont apportés en même temps que le premier apport de d'urée soit 15 Jours Après Semis (JAS).

Analyse des caractéristiques physico-chimiques

Les échantillons de sol ont été prélevés avant semis et à la récolte à la profondeur de 0-20 cm. Les échantillons ont été séchés, puis broyés et tamisés à 0,5 mm pour les analyses chimiques.

Le pH (eau) a été déterminé dans une suspension par la lecture directe sur pH-mètre (Tacussel) à électrode en verre et par la méthode Afnor (1981).

Le carbone organique a été déterminé selon la méthode de Walkley et Black (1934). Ce qui a conduit à la détermination du pourcentage de carbone dans le sol par la formule suivante :

$$C\% = ((V_1 - V_2) \times N \times 0,3 \times 1,33) / P$$

L'azote total et le P total ont été mesurés à l'aide d'un colorimètre automatique (Skalar SANplus Segmented flow analyzer, Model 4000-02, Holland), tandis que le K total a été déterminé par photométrie de flamme.

Analyses statistiques des données

Les performances des cultures ont été estimées à travers les composantes de rendements. Les rendements ont été analysés à l'aide du logiciel Genstat 9^{ème} édition. Les moyennes ont été séparées par le test de Newman Keuls au seuil de 5 %. Les moyennes sur les éléments nutritifs ont été comparées par l'analyse descriptive à l'aide de Genstat 9^{ème} édition.

Tableau 1 : Formules de fumures testées à Pentinga et Kotchari en fonction de la spéculation durant les deux campagnes agricoles.

Site	Traitement	Spéculation	Fertilisation			
			Fumure organique (t.ha ⁻¹)	NPK (kg.ha ⁻¹)	Urée (kg.ha ⁻¹)	Burkina phosphate (kg.ha ⁻¹)
Pentinga	Pp	Sorgho	-	-	-	-
	T1	Sorgho	5	0	50	0
	T2	Sorgho	0	100	50	0
	T3	Sorgho	5	0	50	200
	T4	sorgho	5	100	50	200
	T5 (Association sorgho-niébé)	Sur les lignes de sorgho	0	100	50	0
		Sur les lignes de niébé	0	50	0	150
Kotchari	Pp	Maïs	-	-	-	-
	TM1	Maïs	0	150	100	0
	TM2	Maïs	6	0	100	0
	TM3	Maïs	6	0	100	200
	TM4	Maïs	6	150	100	200
Kotchari	Pp	Niébé	-	-	-	-
	TN1	Niébé	0	0	0	200
	TN2	Niébé	0	0	50	
	TN3	Niébé	0	100	0	200
	TN4	Niébé	5	100	0	0

Pp=pratique paysanne ; T= Traitement ; TM= Traitement sur le maïs ; TN= Traitement sur le niébé ; BP= Burkina Phosphate ; fo= fumure organique.

RESULTATS

Effets des formules de fumures sur la production des cultures

Effet des formules de fumures sur les composantes de rendement du sorgho

Les formules de fumures n'ont pas induit de différences significatives sur le rendement grain au seuil de 5% avec le Test de Newman Keuls (Figure 1) au cours des deux campagnes agricoles. Par contre, celles-ci ont entraîné une différence significative sur le rendement paille au seuil de 5% avec le Test de Newman Keuls.

Sur le rendement paille, l'application de la fumure minérale seule (T2=NPK+ Urée)

et la fumure organo-minérale (T1=fo+Urée) n'a pas induit d'effet significatif. La production la plus élevée est obtenue avec la fumure organo-minérale (T1=fo+Urée). L'application supplémentaire du BP à la fumure organo-minérale T1 (fo+urée) en T3 (fo+Urée+BP), n'a pas augmenté significativement le rendement paille du sorgho. La formule de fumure T4 (BP+fo+Urée+ NPK) comparée aux formules de fumures T2 (NPK+Urée) et la T6 (T2=T6=NPK+Urée) met en relief le rôle important de l'association fumier+BP (fumure organo-phosphatée) sur ces deux paramètres de rendement.

Effet des formules de fumures sur les composantes de rendement du Maïs

Les fumures n'ont pas induit d'effet significatif sur les deux composantes de rendement du maïs au seuil de 5%. Par contre les moyennes arithmétiques montrent de différences entre les traitements. L'analyse de la Figure 2 montre une fois de plus la performance des fumures organo-phosphatées TM3 (fo+BP+Urée) et T4 (fo+BP+NPK+Urée) sur les composantes de rendement du maïs. La fumure minérale TM1 (NPK+Urée) a induit des rendements relativement élevés par rapport à la fumure organo-minérale sur le maïs.

Effet des formules de fumures sur les composantes de rendement du Niébé

L'analyse statistique a montré que la formule de fumure n'a pas eu d'effet significatif sur la biomasse aérienne totale, et les rendements fane et grain (Figure 3). Sur tous ces paramètres de rendement, on note une plus grande expressivité de la fumure organo-minérale TN4 (fo +NPK) et la combinaison TN3= BP+NPK. La plus faible production est obtenue avec l'application du BP seul.

Effets des formules de fumures sur les caractéristiques chimiques des sols sous cultures de sorgho, maïs et niébé.

Le Tableau 2 présentent les caractéristiques chimiques du sol (pHeau, MO, N-total, P-total, K-total) sous la monoculture de sorgho à Pentinga et sur la rotation maïs-niébé à Kotchari.

Effets des formules de fumures sur le pH/acidité

L'application des fumures a modérément augmenté le pH des sols sous culture de sorgho de maïs et de niébé (Tableau 2). Sous culture de sorgho et de niébé, les fumures ont induit une différence significative au seuil de 5% avec le test de Newman Keuls. Par contre sur le niébé, il n'y a aucune différence significative entre les traitements. On constate que sur le sorgho les fumures (fo+Urée) et la (fo+BP+NPK+ Uré) et la fumure (BP+NPK) sous culture de niébé relève le pH du sol.

Effets des formules de fumures sur la matière organique

Le tableau 2 ne montre aucune différence significative sous culture de sorgho entre les traitements concernant la teneur en matière organique au seuil de 5% avec le test de Newman Keuls. Par contre avec la rotation maïs-niébé, les différentes formules de fumures ont induit une différence significative avec le test de Newman Keuls au seuil de 5%. Les résultats ont montré une légère augmentation des teneurs en matière organique sous culture de sorgho et de maïs avec l'application de toutes les fumures. On note une amélioration nette du statut organique avec les fumures organo-minérales et celles combinant le BP. Sous culture de sorgho, on obtient une augmentation moyenne de la teneur en matière organique de 4,24 à 8,15% avec les fumures organo-minérales et organons-phosphatées. Cette augmentation est de 9,23 à 13,86% sur le maïs. Sur le niébé, les formules de fumure combinant le BP ; BP+ Urée et BP+NPK ont amélioré la teneur en matière organique respectivement de 5,6% ;7,1% et 22,37%.

Effets des formules de fumures sur l'azote

Les résultats sur la teneur en azote montrent une différence significative entre les traitements au seuil de 5% avec le test de Newman Keuls sous culture de Sorgho et maïs (Tableau 2). Sur le sorgho, les teneurs en azote sont plus élevées avec les formules de fumures (fo+urée ; fo+BP+urée+NPK). Aussi, sur le maïs, les formules de fumures organo-phosphatées TM3 (fo+BP+urée) et TM4 (fo+BP+urée+NPK) ont amélioré la teneur en azote. Par contre les parcelles sous culture de niébé appliquées avec les différentes formules de fumures ne révèlent aucune différence significative avec le test de Newman Keuls (Tableau 2). La teneur en azote sous culture de niébé est quasi stable. On note cependant une légère baisse en cet élément avec la combinaison (BP+NPK).

Effets des formules de fumures sur le phosphore total (Pt)

Les différentes fumures appliquées sur les parcelles de sorgho, de maïs et de niébé

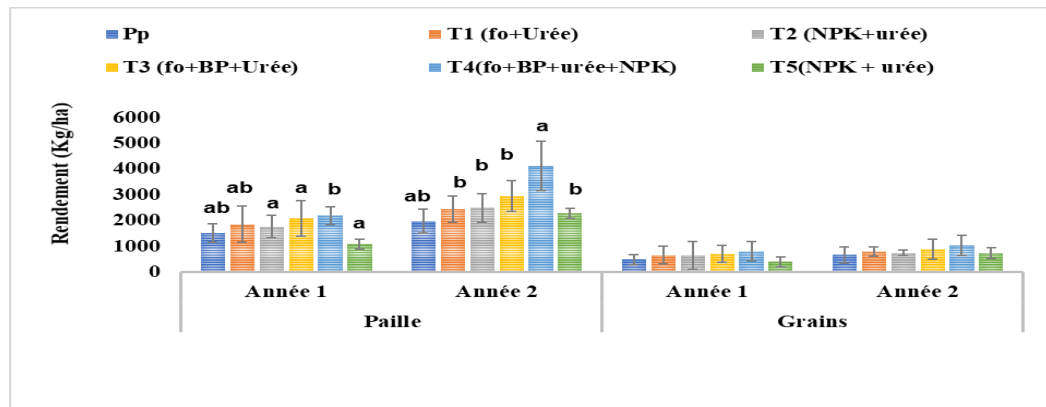
ont induit une différence significative avec le test de Newman Keuls au seuil de 5% (Tableau 2). On obtient sur les parcelles de sorgho et de maïs, une amélioration du phosphore total du sol avec toutes les formules de fumures à base de BP. Les teneurs de P total les plus élevées sont obtenues avec les formules organo-phosphatées (fo+BP+Urée) et la fumure organo-minérale (fo+urée) sous culture de sorgho et de maïs. Sur les légumineuses, les combinaisons de fumures à base de BP améliorent le stock de phosphore total par rapport au témoin. On note une baisse de cet élément avec la combinaison (BP+NPK) par rapport au témoin.

On note, des valeurs élevées de phosphore total sur les parcelles de maïs et de maïs situées à Kotchari, site de production des phosphates naturelles du Burkina Faso.

Effets des formules de fumures sur le potassium total (Kt)

Les résultats sur le potassium total révèlent de différence significative entre les traitements avec le test de Newman Keuls au seuil de 5% sur les parcelles en cultures de sorgho, maïs et niébé. D'une manière générale, les formules de fumures sur les céréales améliorent sensiblement le stock du potassium total du sol sur les parcelles de sorgho et maïs. La formule de fumure organo-phosphatée T3 (fo+BP+Urée) et T4 (fo+BP+Urée+NPK) accuse une baisse en cet élément chimique.

Sur le niébé, toutes les formules de fumures ont un effet positif sur le potassium total. Avec la combinaison (BP+NPK) on enregistre une baisse en cet élément.



P paille année1=0,038 (S)

P paille année2=0,042(S)

P Grains année1 =0,12 (NS)

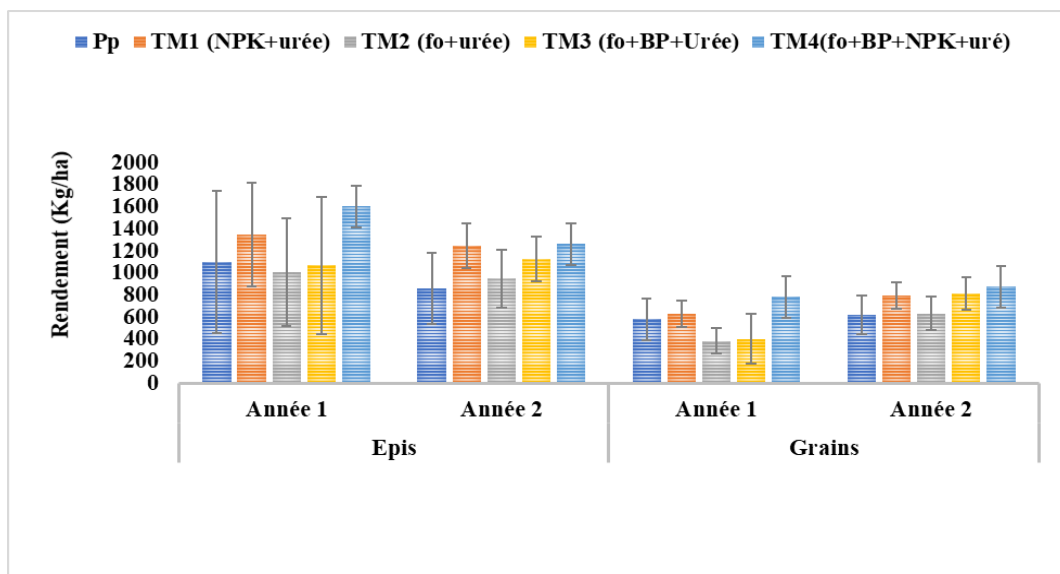
P Grains

année2=0,191(NS)

Pp =pratique paysanne ; NS= non significatif ; S= significatif ; T= Traitement ; BP= Burkina Phosphate ; fo= fumure organique ; p= probabilité.

Les valeurs affectées d'une même lettre pour une même composante de rendement ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité.

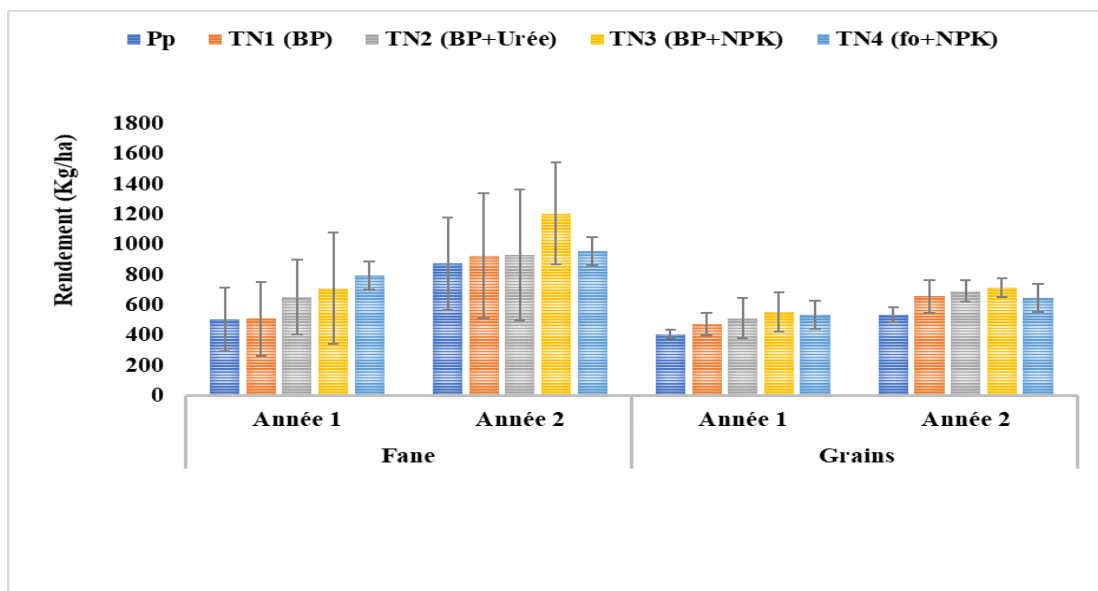
Figure 1 : Effet des formules de fumures sur les composantes de rendement du sorgho



P paille année1=0,20 (NS) P paille année2=0,142(NS) P Grains année1 =0,142 (NS) P Grains année2=0,29 (NS)
 Pp =pratique paysanne ; NS= non significatif ; TM= Traitement sur maïs ; BP= Burkina Phosphate ; fo= fumure organique ; p= probabilité.

Les valeurs affectées d'une même lettre pour une même composante de rendement ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité.

Figure 2 : Effet des formules de fumures sur les composantes de rendement du Maïs.



P paille année1=0,183 (NS) P paille année2=0,412(NS) P Grains année1 =0,212 (NS) P Grains année2=0,91(NS)

Pp =pratique paysanne ; NS= non significatif ; TN= Traitement sur le niébé ; BP= Burkina Phosphate ; fo= fumure organique ; p= probabilité.

Les valeurs affectées d'une même lettre pour une même composante de rendement ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité.

Figure 3 : Effet des formules de fumures sur les composantes de rendement du Niébé.

Tableau 2 : Effet des formules de fumures sur les caractéristiques de sol sous culture de sorgho (Pentinga) et sous rotations maïs-niébé (Kotchari).

Technologies	pHeau	MO	N-total	P-total	K-total
		%	g.kg ⁻¹	P-mg.kg ⁻¹	K-mg.kg ⁻¹
Sous culture de sorgho à Pentinga					
To (sol de départ)	6,3±0,20a	1,13±0,12	0,472±0,16ab	110,56±108,9a	703,74±296,2ab
T1 (fo+Urée)	6,6±0,17b	1,18±0,24	0,629±0,10b	117,74±115,4a	833,78±311,5b
T2 (NPK+Urée)	6,5±0,38ab	0,97±0,31	0,602±0,30b	110,51±82,4a	771,18±286,3ab
T3 (fo+BP+Urée)	6,4±0,32ab	1,15±0,25	0,465±0,19ab	148,90±97,8b	722,18±286,3ab
T4(fo+BP+Urée+NPK)	6,6±0,30b	1,23±0,37	0,422±0,16a	122,51±95,7ab	625,60±171,9a
T5 (NPK+ Urée)	6,4±0,34ab	1,10±0,47	0,547±0,25ab	129,77±170,1ab	731,18±163,7ab
Valeur de p Anova	0,041	0,127	0,033	0,047	0,039
Significativité	S	NS	S	S	S
Sous culture de maïs à Kotchari					
To	6,3±0,52	1,18±0,27a	0,518±0,19	1409,92±2271,7a	886,10±363,2a
TM1 (NPK+urée)	6,3±0,18	1,29±0,33ab	0,521±0,14	1970,47±2939,6b	958,26±294,1b
TM2 (fo+urée)	6,28±0,21	1,3±0,32ab	0,526±0,15	2655,0±3939,3ab	969,52±446,8b
TM3 (fo+BP+Urée)	6,39±0,24	1,36±0,30b	0,663±0,49	2121,49±3361,9ab	864,60±373,4ab
TM4(fo+BP+NPK+urée)	6,25±0,24	1,37±0,19b	0,777±0,54	1611,65±2463,6b	862,30±351,7a
Valeur de p Anova	0,142	0,048	0,20	0,003	0,031
Significativité	NS	S	NS	S	S
Sous culture de niébé à Kotchari					
To	6,3±0,52a	1,18±0,27a	0,518±0,12	1409,92±2271,7ab	886,10±363,2ab
TN1 (BP)	6,3±0,20a	1,25±0,45ab	0,529±0,19	2248,71±3589,2b	938,87±428,9b
TN2 (BP+Urée)	6,4±0,22ab	1,27±0,25ab	0,551±0,14	2690,86±4263,1b	993,79±428,9b
TN3 (BP+NPK)	6,6±0,26b	1,52±0,55b	0,519±0,12	1191,56±2801,6a	894,10±352,9ab
TN4 (fo+NPK)	6,4±0,24ab	1,17±0,33a	0,587±0,35	1826,232±2722,2ab	872,98±274,6a
Valeur de p Anova	0,042	0,039	0,246	0,036	0,041
Significativité	S	S	NS	S	S

To = échantillon de départ ; Nt = azote total ; Pt = phosphore total ; Kt= potassium total ; MO= matière organique, S =significatif ; NS= non significatif ; T= Traitement ; TM= Traitement sur le maïs ; TN= Traitement sur le niébé ; BP= Burkina Phosphate ; fo= fumure organique ; p= probabilité.

DISCUSSION

Effets des formules de fumures sur la production des cultures (sorgho, maïs, niébé)

Effet des formules de fumures sur le Sorgho

Sur le rendement grain du sorgho, les formules de fumures n'ont pas induit d'effet significatif. Ouattara et al. (2018) au Burkina et Sissoko and Lebailly (2019) au Mali en appliquant pourtant des doses croissantes d'éléments fertilisants ont obtenu des augmentations significatives des rendements grains. Cette différence entre nos résultats et ceux de ces auteurs pourrait s'expliquer par l'arrêt brutal des pluies observé au stade d'initiation florale qui a influencé la phase d'épiaison du sorgho, ce qui a entraîné l'échaudage des grains. En effet, selon Sultan et al. (2015) et Sissoko and Lebailly (2019) l'échaudage en fin de cycle peut survenir lorsque les pluies sont insuffisantes. Ce résultat montre clairement que l'agriculture pluviale est sujette aux variations climatiques et confirme les faibles moyens de l'agriculture pluviale pour anticiper et enrayer les effets des fluctuations climatiques. Ainsi, les déficits hydriques pendant les phases critiques notamment la floraison réduisent considérablement les rendements (Aune et al., 2017 ; Roose et al., 2017).

La production paille du sorgho avec la fumure organo-minérale est plus élevée que celle de la fumure minérale seule (T2=NPK+Urée). Cela s'expliquerait par l'effet direct de la fumure organo-minérale sur le rendement paille. Pouya et al. (2013) ; Ouédraogo et al. (2014) et Roose et al., (2017) ont conclu que l'apport combiné de la matière organique et des engrais minéraux permet de réduire le lessivage des engrais et d'augmenter l'efficacité des engrais azotés. En outre, des interactions positives et complémentaires existent entre ces deux types de fertilisants. L'une des bases de cette complémentarité est que les fertilisants organiques améliorent les teneurs du sol en matières organiques et des aspects associés à la fertilité des sols, tandis que les fertilisants minéraux fournissent les nutriments limitants (Vanlauwe et al., 2010 ; Shaxson and Roose,

2017).

La comparaison de la fumure organo-minérale T1 (fo+urée) et de fumure T3 (fo+Urée+BP) malgré l'adjonction du BP, n'a pas augmenté significativement les rendements paille du sorgho. La réponse au BP n'est pas immédiate du fait de sa faible solubilité. Le BP, pour être efficace (soluble et disponible), exige probablement des conditions pédo-climatiques adéquates (pH, humidité etc.). Nos résultats sont conformes à ceux de Pouya (2014) qui estiment que les phosphates naturels ont une action croissante avec le temps. Lompo et al. (2009) et Morel et al., (2017) expliquent cette action lente et progressive par deux groupes de facteurs : ceux liés aux caractéristiques intrinsèques aux phosphates naturels (minéralogie et cristallogie, composition chimique, finesse du broyage) et ceux dépendant du milieu (type de sol, humidité, acidité, type de spéculation).

La formule de fumure T4 (BP+fo+Urée+ NPK) comparée aux formules de fumures T2 (NPK+Urée) et la T6 (T2=T6=NPK+Urée) met en relief le rôle important de l'association fumier + BP (fumure organo-phosphatée) sur le poids paille. Le surplus de rendement serait imputable aux effets conjugués, voire synergiques du fumier et du BP. L'adjonction du NPK à T3 en T4 améliore significativement sa production. Le NPK semble l'engrais minéral qui améliore l'efficacité de la fumure organo-phosphatée. La solubilisation du NPK libère les éléments majeurs N, P, K qui ont joué spécifiquement chacun un rôle dans la minéralisation du fumier d'une part, et d'autre part dans la solubilisation du phosphate naturel.

Les résultats enregistrés sur la biomasse aérienne totale sont similaires à ceux sur le poids paille.

Effet des formules de fumures sur le maïs

Ce sont les mêmes formules de fumures que celles appliquées sur sorgho. La performance des fumures organo-phosphatées (BP+fo+Urée ; BP+fo+Urée + NPK) par rapport à la pratique paysanne est ressortie sur cette céréale. On note toutefois que la fumure minérale NPK + Urée induit des rendements

relativement élevés par rapport à la fumure organo-minérale sur le maïs. Cela pourrait s'expliquer par le caractère très soluble des engrais minéraux qui apportent en effet aux plantes des éléments (N, P, K) solubles et disponibles. Ces mêmes résultats ont été observés par Lompo (2009) et Koulibaly et al., (201).

Effet des formules de fumures sur le niébé

L'analyse statistique a montré que la formule de fumure n'a pas eu d'effet significatif sur la biomasse aérienne totale, et les rendements fanes et grain. Cela pourrait s'expliquer par la variation intra-annuelle des précipitations qui a probablement joué en défaveur de ces paramètres. Ce résultat montre clairement que l'agriculture pluviale est sujette aux variations climatiques et confirme les observations de Sultan et al. (2015) et Acosta-Alba et al. (2019), selon lesquelles les effets des fluctuations climatiques s'illustrent par une corrélation forte entre la productivité et pluviométrie. Sur tous ces paramètres de rendement, les moyennes arithmétiques les plus élevées sont obtenues avec la fumure organo-minérale TN4 (fo +NPK) et la combinaison TN3= BP+NPK qui s'explique probablement par la contribution du NPK en ses éléments disponibles et solubles N, P et K et son action dans la solubilisation du BP.

Effet comparé de la culture pure et de l'intercropping.

Malgré l'homogénéité des traitements T2=T5=NPK+Urée sur sorgho, on note une différence entre les moyennes arithmétiques en culture pure T2 et en intercropping T5. On pourrait expliquer ces résultats par « l'effet de masse » (culture pure) qui limite assez les compétitions intra-cultures. En effet deux cultures d'espèce différente expriment des besoins divers pour la lumière, les éléments nutritifs et l'eau etc. La culture pure réduit vraisemblablement les compétitions inter-cultures. Une autre explication est le fait que les producteurs n'ont pas une bonne maîtrise de l'intercropping ou que ce système de culture ne fait pas partie intégrante de leurs habitudes ou façons culturales.

Effets des formules de fumures sur les caractéristiques chimiques des sols

Les analyses chimiques des sols révèlent le rôle important de la fumure organo-minérale dans l'optique d'une intensification durable de la production. En effet, l'apport de matière organique en surface favorise en début de cycle, le développement racinaire ce qui contribue à enrichir le pool organique du sol (Pouya, 2014). En outre, par sa minéralisation, la matière organique contribue à la nutrition des cultures par l'apport aussi bien des éléments majeurs (N, P et K) que des oligo-éléments. Elle piègerait en outre les éléments minéraux très solubles sous forme de réserve, réduisant ainsi leur perte par lixiviation ou par ruissellement.

La fumure organo-minérale permet un transfert véritable de la fertilité des sols (Ouattara et al., 2018 ; Tingré et al., 2019, Pouya et al., 2020), permet d'atténuer les phénomènes de dégradation du sol (acidification) et améliorer l'efficacité des engrais minéraux, et permet d'obtenir des rendements élevés plus ou moins stables.

Les formules de fumures à base de fumier/compost et de phosphate naturel (fo+BP+Urée ; fo+BP+Urée+NPK), n'ont pas eu d'impact pédologique net sur la capitalisation des éléments minéraux surtout le (N, et K). Cela s'explique si l'on admet l'hypothèse d'un intense processus de minéralisation du fumier et de solubilisation des phosphates naturels induites par l'adjonction des engrais minéraux (Urée et NPK surtout) et par conséquent la disponibilité améliorée des éléments nutritifs. Des résultats similaires ont été obtenus par Lompo et al., (2018) et Morel et al. (2017). Cela explique évidemment les forts rendements obtenus avec ces fumures qui témoignent d'une grande exportation des éléments libérés par les cultures d'où l'apparente inaction de ces fumures sur les caractéristiques chimiques des sols. Des mécanismes analogues à ceux au cours du compostage semblent influencer la dynamique de ces combinaisons et ainsi améliorer l'efficacité agronomique de celles-ci.

Sur le stock du phosphore et du carbone, ces fumures organo-phosphatées ont une efficacité pédologique nette. De nombreux travaux de recherche ont en effet mis en évidence le rôle incontestable des phosphates naturels sur la recapitalisation du phosphore total et du fumier sur l'amélioration du statut organique (Bonzi et al., 2011 ; Soma et al., 2018).

Lorsqu'on considère les résultats obtenus sur le niébé avec les différentes combinaisons à base de phosphates, on constate une augmentation du stock des éléments majeurs (N, P, K). La combinaison (BP+NPK) semble efficiente sur la solubilisation des phosphates naturels. Bonzi et al., (2011) ; Lompo et al., (2018) explique cela par une action synergique entre l'association (BP+ engrais) favorisée par les conditions climatiques (humidité) et édaphiques (Bationo et al., 2011 et Soma et al., 2018) et par la nature de la culture (Bado, 2002, Zeinabou et al., 214). Une autre explication est que le complexe NPK contribuent en ses éléments majeurs (N, P, K) qui favorisent la solubilisation des phosphates naturels.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

PMB a élaboré le protocole de l'essai, collecté, traité les données et rédigé le manuscrit. SDM a participé au traitement des données et a corrigé le manuscrit. GZ et KI ont lu et corrigé le manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les Dr SEDOGO Michel et Dr LOMPO François pour leur appui technique et conseils pour ces travaux de recherche menés.

Conclusion

Ces tests agronomiques ont permis d'étudier l'impact agro-pédologique des formules de fumures organo-phosphatées dans la recherche d'une (des) formule de fumure(s)

plus efficiente (s) pour une intensification durable. Le rôle de la fertilisation minérale et organo-minérale dans une perspective d'intensification agricole a aussi été évalué. Il en découle que :

- les formules de fumures organo-phosphatées 5t/ha fo+200Kg/ha BP+ 50Kg/ha Urée et 5t/ha fo+200Kg/ha BP+ 50Kg/ha Urée+150Kg/ha NPK sur sorgho; 6t/ha fo+200Kg/ha BP+ 100Kg/ha Urée et 6t/ha fo+200Kg/ha BP+ 100Kg/ha Urée+150Kg/ha NPK sur maïs) sont les plus performantes ;
- la fumure organo-minérale a eu en première année de culture une action immédiate comparativement à la fumure minérale avec la culture du sorgho et du niébé.

- L'engrais minéral NPK semble être l'engrais le plus indiqué pour améliorer l'efficacité des fumures organo-phosphatées

- L'engrais NPK semble mieux favoriser la solubilisation du BP ;

- La culture pure enregistre la production la plus élevée en première année de culture ;

- La combinaison BP+NPK semble vraisemblablement la meilleure combinaison agronomique avec le BP sur les légumineuses. Cette étude ouvre de nouvelles perspectives de développement et de recherche afin de mieux accompagner les recommandations techniques et permettre une exploitation durable et intensive des ressources sols.

- Au niveau du développement, des actions de vulgarisation effective du compostage, avec l'usage du phosphate naturel pour améliorer la qualité du compost sont à renforcer. Cela présente les avantages :

- de résoudre la difficulté d'épandage des phosphates naturels ;

- d'améliorer la solubilité des phosphates naturels et par conséquent la qualité du compost.

- La recherche se doit de proposer des dispositifs de compostage accessibles et aisément manipulables pour les paysans. L'avantage d'une telle recommandation est la résolution du problème d'équipements qui se pose au cours des différentes opérations de compostage.

Des dispositifs permettant d'étudier en station, l'action des fumures (BP+urée) et (BP+NPK) (BP+NPK+Urée) avec différents substrats pour mieux appréhender et maîtriser au champ et en compostière, les différents mécanismes y afférents sont à envisager.

REFERENCES

- Acosta-Alba I, Chia E, Andrieu N. 2019. The LCA4CSA framework: Using life cycle assessment to strengthen environmental sustainability analysis of climate smart agriculture options at farm and crop system levels. *Agric. Syst.*, **171**(3): 155–170.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.001>.
- Aune JB, Coulibaly A, Giller KE. 2017. Precision farming for increased land and labour productivity in semi-arid West Africa. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, **37**(16): 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0424-z>.
- Bado BV. 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne au Burkina- Faso. Thèse de doctorat de troisième cycle, université Laval Québec, p. 148.
- Bationo A, Wasma B, Okeyo J, Kihara J, Bonzi M, Mokwunye AU. 2011. State of the art research on phosphate rocks in West Africa Drylands. p. 15.
- Bougma LA, Ouédraogo MH, Sawadogo N, Sawadogo M, Balma D, Vernooy R. 2018. Perceptions paysannes de l'impact du changement climatique sur le mil dans les zones sahéliennes et soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Afrique SCIENCE*, **14**(4) : 264–275.
<http://afriquescience.info>.
- Bonzi M, Lompo F, Ouandaogo N, Sedogo, MP. 2011. Promoting uses of indigenous phosphate rock for soil fertility recapitalisation in the sahel: State of the knowledge on the rock phosphate of Burkina Faso. In *Innovations as Key to the Green Revolution in Africa*, Bationo A, Waswa B, Okeyo J, Maina F, Kihara J. (eds). Springer Dordrecht. DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-2543-2_39
- Dabré A, Hien E, Somé D et Drevon JJ. 2017. Effets d'amendements organiques et phosphatés sous zaï sur les propriétés chimiques et biologiques du sol et la qualité de la matière organique en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(1): 473-487, February 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.38>.
- Dabré A. 2011. Efficience du Burkina phosphate et des amendements organiques sur la production végétale et la dynamique de l'activité biologique des sols très dégradés (zipella) du Burkina Faso : Cas du village de Pougyango (Province du Passoré). Rapport de stage de fin de cycle. BTS/Pédologie, CAP/M, Bobo-Dioulasso, p. 84.
- Diop T, N'Diaye R, Sow SA, Ba DD. 2019. Analyse des effets du phophogypse et du fumier sur la salinité de la cuvette de Ndiol dans le Delta du fleuve Sénégal. *Afrique SCIENCE*, **15**(4) : 71-80.
<http://www.afriquescience.net>.
- DRED/MED. 2004. Monographie de la province de la Tapoa, 2004. Population et Développement. Projet BKF05/02/03, 2004.
- Fontes J, Guinko S. 1995. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Notice explicative. ICIV, IDR, Ministère de la Coopération Française (Projet Campus 88313101), p. 53.
- Guinko S. 1984. Végétation de Haute-Volta. Thèse de Doctorat es Science Naturelles, Université de Bordeaux II, T1 et 2, p. 399.
- Herrmann SM, Anyamba A, Tucker CJ. 2013. Exploring Relationships between Rainfall and Vegetation Dynamics in the Sahel Using Coarse Resolution Satellite Data. *Global Environmental Change*, **15**: 394-404. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2001.03.004>.

- Kabore-Sawadogo S, Ouattara K, Balima M, Ouédraogo I, Traoré S, Savadogo M, Gowing J. 2014. Burkina Faso: A cradle of fram-scale technologies. In: Gowing, W.C.a.J. (Ed.), *Water Harvesting in Sub-Saharan Africa*, **12**: 51-69. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203109984>.
- Katengeza SP, Holdena ST, Fisher M. 2019. Use of Integrated Soil Fertility Management Technologies in Malawi: Impact of Dry Spells Exposure. *Ecol. Econ.*, **156**: 134–152. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.09.018>.
- Koulibaly B, Traoré O, Dakuo D, Lalsaga R, Lompo F, Zombré PN. 2014. Acidification des sols ferrugineux et ferrallitiques dans les systèmes de production cotonnière au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(6) : 2879-2890. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i6.44>
- Kuela DT. 2000. Monographie de la province de la Tapoa. Population et développement. CONAPO et PPLS/DREED-Est et CPAT/TAO, 2000.
- Lompo F, Bationo A, Sedogo MP, Bado VB, Hien V, Ouattara B. 2018. Role of Local Agro-minerals in Mineral Fertilizer Recommendations for Crops: *Examples of Some West Africa Phosphate Rocks*. In: *Improving the Profitability, Sustainability and Efficiency of Nutrients Through Site Specific Fertilizer Recommendations in West Africa Agro-Ecosystems*, Bationo A, Ngaradoum D, Youl S, Lompo F, Fening J (eds). Springer Cham., 157–180. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58789-9_9.
- Lompo F, Segda Z, Gnankambary Z, Ouandaogo N. 2009. Influence des phosphates naturels sur la qualité et la biodégradation d'un compost de pailles de maïs. *Tropicicultura*, **27** (2) :105 -109.
- Lompo F. 2009. Effets induits des modes de gestion de la fertilité sur les états du phosphore et solubilisation des phosphates naturels dans deux sols acides du Burkina. Thèse de doctorat d'Etat. Université de Cocody. Abidjan, Cote d'Ivoire. 219 P + annexes.
- Mohcine H, Saber N, Moustarhfer K, Rafik F, Zaakour F, Matech F, Marrakchi C. 2015. Qualite physico-chimique des sols agricoles de la region de l'oulja entre sidi abed et oulad ghanem (sahel des doukkala, maroc). *European Scientific Journal*, **11**(21) : 168-181.
- Morel C, Houot S, Montenach D, Michaud A, Hammel F, Mercier V, Denoroy P. 2017. Dynamique à long terme du phosphore dans deux essais au champ du réseau SOERE-PRO. *Observatoire de recherche en environnement pour l'étude du recyclage agricole de Produits Résiduaux Organiques*. 13èmes RENCONTRES COMIFER-GEMAS, 8 et 9 novembre 2017, Nantes, (2017) p. 12.
- Ouandaogo N, Ouattara B, Pouya BM, Gnankambary Z, Nacro BH, Sedogo PM. 2016. Effets des fumures organo-minérales et des rotations culturales sur la qualité des sols. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(2) : 904- 918. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i2.37>
- Ouédraogo J, Ouédraogo E, Nacro HB. 2014. Effet de l'interaction entre des modes de gestion de fertilité et le macrofaune sur la productivité du niébé et du sorgho en zone nord soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(1) : 104-114. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i1.10>.
- Pouya MB, Savadogo MO, Ouédraogo J, Sermé I, Vognan G, Dakuo D, Sedogo MP and Lompo F. 2020. Déterminants socio-économiques de la dégradation des sols et de l'adoption des technologies de gestion de la fertilité des sols selon les perceptions paysannes dans les zones cotonnières du Burkina Faso. *Asian Journal of Science and Technology*, **11** (6) : 11003-11011.
- POUYA MB. 2014. Investigation en milieu paysan et capitalisation des résultats de référentiels de longues durées sur les modes de gestion de la fertilité des sols dans les agro-systèmes cotonniers du Centre et de l'Ouest du Burkina- Faso. Thèse de Doctorat Unique (PhD) de l'Université Polytechnique de Bobo (UPB), Option : Systèmes de production Végétale/ Spécialité : Sciences du Sol, p. 191.
- Pouya MB, Bonzi M, Gnankambary Z, Traoré K, Ouédraogo JS, Some AN, Sedogo

- MP. 2013. Pratiques actuelles de gestion de la fertilité des sols et leurs effets sur la production du cotonnier et sur le sol dans les exploitations cotonnières du Centre et de l'Ouest du Burkina Faso. *Cah. Agric.*, **22**(4): 282-292. DOI: 10.1684/agr.2013.0643
- Roose E, Arabi M, Bourougaa A, Hamoudi A, Morsli B, Mededjel N, Mazour M, Brahamia K. 2017. Chapitre 33. La lutte antiérosive, la GCES et la restauration de la productivité de sols dans les montagnes du nord de l'Algérie. In *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : Contribution à l'agroécologie*, Roose E (Ed). IRD Éditions ; 429-446.
- Sermé I, Pouya MB, Nignan I, Ouattara K. 2018. Effet de l'application d'engrais solubles NPK et de l'Urée en microdose sur le soja et le maïs au Burkina Faso. *Sciences Naturelles et Appliquées*, **34** : 2015-2018.
- Shaxson TF, Roose E. 2017. Chapitre 4 : Une perspective écologique sur la restauration des sols dégradés. In *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : Contribution à l'agroécologie*, Roose E (Ed). IRD Éditions, 65-74.
- Sissoko P, Lebailly P. 2019. Les déterminants des rendements du mil et du sorgho avec la technique du microdosage d'engrais. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, **7** (2) : 213-222.
- Sermé I, Ouattara K, Logah V, Taonda JB, Pale S, Quansah C, Abaidoo CR. 2015. Impact of tillage and fertility management options on selected soil physical properties and sorghum yield. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(3):1154-1170. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.2>
- Somé D, Hien E, Assigbetse K, Drevon JJ, Masse. 2015. Dynamique des compartiments du carbone et de l'azote dans le sol cultivé en niébé et sorgho dans le système zaï en zone Nord soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(2): 954-969. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i2.32>
- Soma DM, Kiba DI, Gnankambary Z, Ewusi-Mensah N, Sanou M, Nacro HB, Lompo F, Sedogo PM, Abaidoo RC. 2018. Effectiveness of combined application of Kodjari phosphate rock, water soluble phosphorus fertilizer and manure in a Ferric Lixisol in the centre west of Burkina Faso. *Archives of Agronomy and Soil Science*, **64**(3): 384-397. DOI: 10.1080/03650340.2017.1353216.
- Sultan B, Roudier P, Traoré S. 2015. Les impacts du changement climatique sur les rendements agricoles en Afrique de l'Ouest. In *Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*, Sultan B, Lalou R, Sanni AM, Oumarou A, Soumaré MA (Eds). IRD : Marseille; 209-225.
- Tingueri LB, Bougouma-Yameogo VMC, Blanchard M. 2019. Évaluation de la durabilité des pratiques horsnormes de gestion de la fumure organique dans l'Ouest du Burkina Faso. In *Les Zones Cotonnières Africaines : Dynamiques et Durabilité*. Acte du colloque international sur les dynamiques et durabilité des zones cotonnières africaines, Bamako, Mali, 21 Novembre 2017/24 Novembre 2017, Soumaré M, Havard M (eds). CIRAD, IER, USSGB : Bamako ; 365-379.
- Walkley A, Black IA. 1934. An examination of the Detjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, **37**: 29-38. DOI: 10.1097/00010694-193401000-00003.
- Zeinabou H, Mahamane S, Bismarck NH, Bado BV, Lompo F, Bationo A. 2014. Effet de la combinaison des fumures organo-minérales et de la rotation niébé-mil sur la nutrition azotée et les rendements du mil au sahel. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(4) : 1620-1632. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i4.24>.