

EFFETS DE FERTILISANTS ORGANIQUE ET ORGANO-MINERAL A BASE DE DECHETS VEGETAUX ET ANIMAUX SUR LA CROISSANCE ET LE RENDEMENT DU SOJA (*Glycine max* (L.) MERRILL) EN ZONE DE SAVANE DE COTE D'IVOIRE

¹Y. F. KOUASSI, ²G. A. GBOGOURI, ³K. A. N'GUESSAN, ⁴A. BILGO, ⁵K. T. PASCALANGUI, ⁵T. J. AMA

¹UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire, Email : fyebouak@yahoo.fr

²UFR des Sciences et Technologies des Aliments, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

³UFR des Sciences Biologiques, Université Peleforo Gon Coulibaly, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

⁴Division technique de l'Agence Régionale pour l'Agriculture et l'Alimentation de la CEDEAO

⁵UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

RESUME

La culture du soja, en Côte d'Ivoire, n'occupe pas la place qu'elle mérite malgré ses potentialités bénéfiques et les conditions favorables. Aussi, la fertilisation minérale, aux apports certains à la culture, demeure-t-elle coûteuse et inaccessible aux petits paysans. Cette étude vise à évaluer les effets de fertilisants organique et organo-minéral d'origines végétale et animale sur la croissance et le rendement du soja (*Glycine max* (L.) Merr). Le dispositif expérimental utilisé est un bloc de Fisher randomisé, avec quatre répétitions et quatre traitements que sont le témoin, la fumure minérale, la fumure organique et la fumure organo-minérale. La fumure minérale a été appliquée à des doses de 24 kg ha⁻¹ N, 45 kg ha⁻¹ P₂O₅ et 36 kg ha⁻¹ K₂O. La dose des fumures organique et organo-minérale était de 10 t ha⁻¹. La fumure minérale a permis d'obtenir une meilleure croissance des plants durant les quarante-cinq premiers jours du cycle cultural. Pendant les quarante-cinq derniers jours du cycle, la fumure organo-minérale a eu les meilleurs effets. La fumure organique a, quant à elle, impacté favorablement le nombre de gousses (250) et la masse de 1000 graines (112,25 g). Cependant, le rendement en graines le plus élevé a été obtenu dans le traitement témoin (1,06 t ha⁻¹). Ainsi, l'utilisation de fumure organo-minérale ne semble pas nécessaire pour la culture du soja, mais plutôt la fumure organique en cas de déficience du sol en matière organique, tout en comblant le déficit hydrique pendant la phase de production.

Mots clés : fumure organique, fumure organo-minérale, croissance, rendement, soja, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

EFFECTS OF ORGANIC AND ORGANO-MINERAL FERTILIZERS ON SOYBEAN PRODUCTIVITY IN THE SAVANNA ZONE OF CÔTE D'IVOIRE

*Soybean cultivation, in Côte d'Ivoire, is lagging despite its beneficial potential and favorable conditions. Also, the mineral fertilization remains expensive and inaccessible to small farmers. This study aims to evaluate the effects of organic and organo-mineral manure of vegetable and animal origins on the soybean growth and yield (*Glycine max* (L.) Merr). The experimental design used is a randomized Fisher block with four replicates and four treatments, namely control, mineral manure, organic manure and organo-mineral manure. The mineral manure was applied at doses of 24 kg ha⁻¹ N, 45 kg ha⁻¹ P₂O₅ and 36 kg ha⁻¹ K₂O. The dose of organic and organo-mineral manure was 10 t ha⁻¹. The mineral manure allowed to obtain a better growth of plants during the first forty five days of the cultural cycle. During the last forty five days of the cycle, the organo-mineral manure had the best effects. The organic manure impacted favorably on the number of pods (250) and the mass of 1000 seeds (112,25 g). However, the highest seed yield was obtained in the control treatment (1.06 t ha⁻¹). Thus, the use of organo-mineral manure does not seem necessary for the culture of the soybean, but*

rather the organic manure in case of soil deficiency in organic matter, while covering the hydrous deficit during the production phase.

Key words : *organic manure, organo-mineral manure, growth, yield, soybean, Côte d'Ivoire.*

INTRODUCTION

En dépit de toutes les potentialités du soja, sa production en Côte d'Ivoire a du mal à prospérer. Elle était une véritable activité de rente pour les populations des zones de savane du pays (Mako *et al.*, 2013). Malheureusement, l'engouement et l'espoir suscités par cette culture auprès des producteurs se sont heurtés, à la fin des années 1990, à de nombreuses difficultés suite à une chute drastique du rendement de 2,3 à 1,2 t ha⁻¹ (Diallo, 1981 ; FAO, 1998). Ces rendements obtenus sont très inférieurs au rendement potentiel de 3 t ha⁻¹ (Giller et Dashiell, 2007). De plus, selon FAO (2004), la production de graines de soja en Côte d'Ivoire a été, en moyenne, de 1971 t an⁻¹ entre 1993 et 2013 et s'est établie à 1000 tonnes en 2013. Cette remarque générale de réduction importante des rendements observée est due à l'absence de variétés adaptées aux conditions locales de culture, aux pratiques culturales à caractère extensif, à la baisse de la fertilité des sols, à l'érosion et au changement climatique.

Au regard des revenus des ménages, la fertilisation minérale conventionnelle demeure coûteuse et inaccessible aux petits paysans (Useni *et al.*, 2013). Son usage est, certes, bénéfique car il augmente la productivité des cultures ; mais, son effet polluant et son coût élevé entravent encore son utilisation par les petits agriculteurs (Bockman *et al.*, 1990). Ainsi, la fertilisation organique devrait constituer une alternative pour restaurer la fertilité des sols (Nyembo *et al.*, 2014) et améliorer les rendements du soja. Elle consiste à apporter des amendements organiques qui, incorporés dans le sol, améliorent à la fois ses propriétés physiques, chimiques et biologiques (Soltner, 2003).

Plusieurs études conduites en milieu naturel et en serre ont montré que les ressources locales et leurs composts appliqués aux sols tropicaux pauvres et acides peuvent fournir les éléments nutritifs nécessaires pour la croissance et le développement des plantes de sorte à accroître le rendement des cultures (Kochi *et al.*, 2010 ; Nyembo *et al.*, 2014). Ces composts sont, le plus souvent, d'origine végétale ou animale.

Ainsi, l'étude vise à évaluer les effets de composts à base d'un mélange de déchets végétaux et animaux sur les légumineuses comestibles, dont le soja, en zone de savane, au Nord de la Côte d'Ivoire.

MATERIEL ET METHODES

SITE DE L'ETUDE

L'étude a été conduite sur une parcelle, de la Sous-Préfecture de Napié (Figure 1), de (coordonnées géographiques) : 05°32'19,4 " W, 09°19' 47,1 " N et 349 m. Les sols de cette localité sont ferrallitiques faiblement désaturés, par endroits appauvris, et hydromorphes (Ferralsols, Lixisols et Gleysols) (Beaudou et Sayol, 1980). Le climat est soudanais, de type tropical subhumide. Il est caractérisé par deux saisons (Beaudou et Sayol, 1980) : une saison sèche (novembre - mai) et une saison pluvieuse (juin - octobre). La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 1100 et 1230 mm, avec une température moyenne annuelle 26,7 °C (Adja *et al.*, 2009). La végétation est une savane herbeuse et arborée caractérisée par des arbres et arbustes disséminés, avec une densité de couvert de l'ordre de 25 à 35 p.c. (OCDE, 1999).

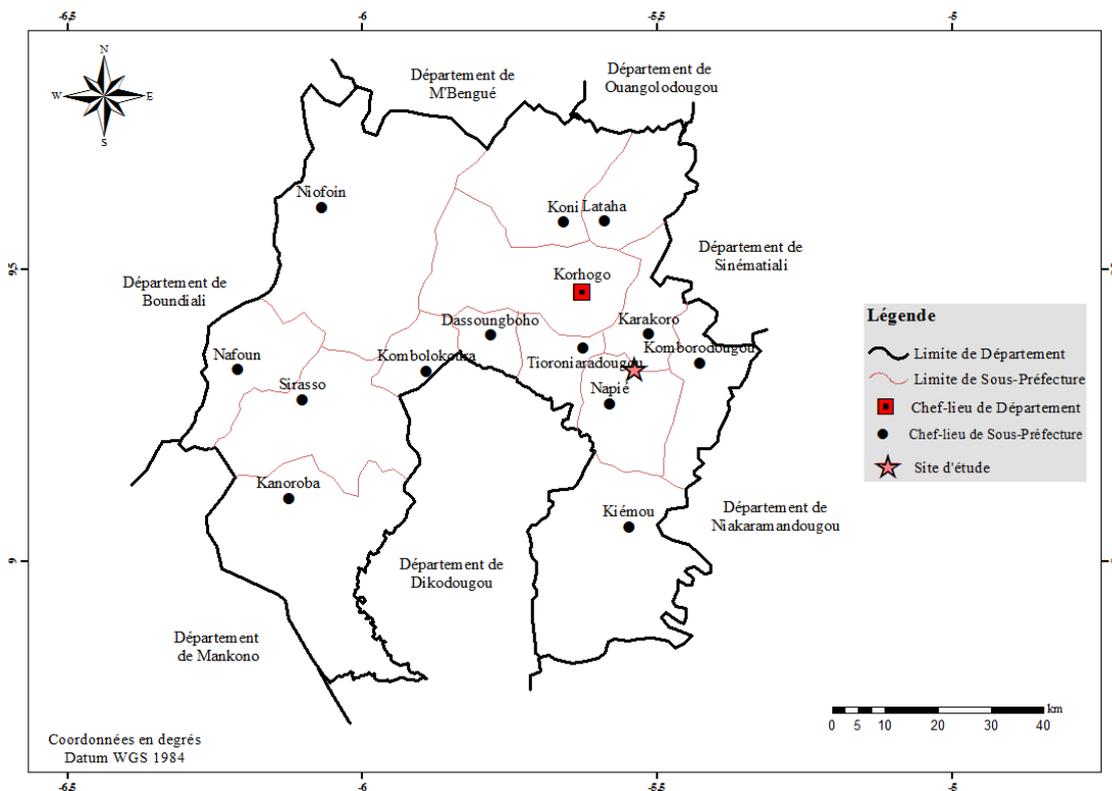


Figure 1 : Site de l'étude.

Study site.

MATERIEL VEGETAL

L'étude a été faite sur la variété Emgopa 310 du soja (*Glycine max*), habituellement cultivée dans le nord du pays. Elle est caractérisée par un cycle cultural variant entre 90 à 100 jours et un rendement moyen en graines de 2 t ha⁻¹. La semence a été achetée à Callivoire, une structure spécialisée dans la commercialisation de semences.

FERTILISANTS UTILISES

Fertilisants minéraux

Deux types de fertilisants minéraux ont été utilisés dans la conduite de l'essai, à savoir le Superphosphate triple (0-46-0) et le Partner (12-11-18).

Matières pour la production des fertilisants organiques

Selon leur disponibilité dans la zone d'étude, les fertilisants ont été produits avec la fiente de poulet, le son de riz et les excréments de bœuf. Deux types de fertilisants ont été produits, dont un enrichi avec des fertilisants minéraux et l'autre non enrichi. Les quantités et proportions de matières utilisées figurent dans le tableau 1.

Tableau 1 : Quantités et proportions de matières utilisées.*Quantities and ratios of materials used.*

Types de fertilisant	Matières (kg)						Quantité totale (kg)
	Fiente de poulet		Excréments de bœuf		Sons de riz		
	Qté	Prop.	Qté	Prop.	Qté	Prop.	
	(kg)	(p.c.)	(kg)	(p.c.)	(kg)	(p.c.)	
Enrichi	865,5	84,22	68,2	6,63	94	9,15	1027,7
Non enrichi	841,7	81,17	91,3	8,80	104	10,03	1037

Qté : quantité ; Prop. : proportion.

Enrichissement du fertilisant organique

Des engrais minéraux ont été apportés au fertilisant organique lors de sa production, selon les quantités qui sont présentées dans le tableau 2.

Les quantités d'azote (N), d'anhydride phosphorique (P_2O_5) et d'oxyde de potassium (K_2O) fournies au fertilisant enrichi sont, respectivement, de 7,30 ; 23,64 et 33,30 unités fertilisantes. Cela correspond à des taux d'enrichissement en élément fertilisants majeurs respectifs de 0,71, 2,30 et 3,24 p.c..

Tableau 2 : Quantités d'engrais apportés à l'enrichissement du fertilisant.*Quantities of manure for fertilizer enrichment.*

Engrais minéraux	Urée	TSP	Partner	Sulfate de potassium
	46-0-0	0-46-0	12-11-18	0-0-51
Quantités (kg)	11,95	47,8	15	60

TSP : superphosphate triple ; Partner : nom commercial d'un engrais minéral ternaire

METHODES

Echantillonnage et analyse de sol

Les échantillonnages de sol ont été effectués dans les couches 0-20 et 20-40 cm de profondeur. Les échantillons ont été analysés au laboratoire d'ENVAL, en Côte d'Ivoire, pour déterminer les caractéristiques physiques et chimiques initiales du sol.

L'analyse granulométrique a été faite par la méthode de la pipette de Robinson-Kohn et le pH_{eau} déterminé, à l'aide d'un pH-mètre électronique, dans une solution de sol avec rapport sol/eau de 1/2,5. Les teneurs en carbone et en azote ont été déterminées, respectivement, par les méthodes de Walkley et Black et Kjeldahl. Les teneurs en matière organique ont été obtenues en multipliant les

teneurs en carbone par 1,724.

La teneur en phosphore assimilable a été déterminée selon la méthode d'Olsen et Dabin (1967) *in* Boyer (1982). La capacité d'échange cationique et les teneurs en cations basiques échangeables ont été déterminées par la méthode à l'acétate d'ammonium à pH 7 (FAO, IUSS, GSP, 2014), permettant ainsi de calculer le taux de saturation en cations échangeables. Les valeurs de ces différents paramètres de fertilité chimique ont été comparées aux normes du Laboratoire de Pédologie de l'Université de Cocody (Assa, 2005).

Echantillonnage et analyse des fertilisants organiques

Au terme de trois mois de compostage, 27 avril au 3 août 2017, les deux types de fertilisants (enrichi et non enrichi) ont été échantillonnés et

analysés au laboratoire d'ENVAL. Les teneurs en matière organique, azote total, phosphore total, magnésium et potassium ont été déterminées.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un bloc de Fisher, avec quatre traitements et quatre répétitions, soit un total de 16 parcelles unitaires de 5x4 m (20 m²) chacune. Les traitements se présentent comme suit :

T : Témoin (sans fumure),

FM : Fumure minérale,

FO : Fumure organique,

FOM : Fumure organo-minérale.

Application des fumures

Les fertilisants ont été mélangés au sol sur une profondeur de 15 cm. Les fumures organique et organo-minérale ont été appliquées une seule fois en fumure de fond le 3 Août 2017, 6 jours avant le semis, avec une quantité de 20 kg par parcelles, soit une dose de 10 t ha⁻¹. La première application de la fumure minérale a été faite le jour du semis (9 Août 2017), avec une quantité de 100 g de TSP par parcelle. La seconde application a eu lieu 7 jours après semis (16 Août 2017), avec 200 g de Partner par parcelle. Et, quinze jours après la première application de Partner (31 Août 2017), 200 g de celui-ci ont été appliqués. Ainsi, les quantités de N, P₂O₅ et K₂O reçues par chaque parcelle sont, respectivement, de 0,048, 0,090 et 0,072 unités fertilisantes, soit les doses correspondantes de 24 kg ha⁻¹, 45 kg ha⁻¹ et 36 kg ha⁻¹.

Semis

Le semis a été fait à plat, avec un écartement de 50 x 20 cm, à raison de 3 graines par poquet et enfouies à 3 cm de profondeur (Kouamé *et al.*, 2007), soit une densité de 288 000 graines par hectare.

Mesure des paramètres de croissance et de rendement

La hauteur et le diamètre au collet des plantes ont été mesurés chaque 15 jours à partir de la date de semis avec, respectivement, un mètre ruban fixé sur une baguette en bois et un pied à coulisse. Les mesures ont porté sur cinq plantes choisies de façon aléatoire dans chaque parcelle

unitaire. Les plantes de bordure des parcelles n'ont pas été prises en compte pour éviter les effets de bordure. L'indice de vigueur des plantes a été déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$IV = \log \left(\frac{C^2 \times H}{4\pi} \right) ; C = \pi \times D$$

avec :

IV : Indice de vigueur,

C : Circonférence au collet des plantes (cm),

D : Diamètre au collet des plantes (cm),

H : Hauteur des plantes (cm).

Le dénombrement des gousses par plante a été effectué sur les cinq plantes qui ont fait l'objet de mesure des paramètres de croissance, quelques jours avant la récolte. Les rendements en graines ont été déterminés à l'aide d'un quadrat carré de 1 m de côté jeté au hasard dans chaque parcelle unitaire. Toutes les gousses des plantes qui se trouvaient à l'intérieur du quadrat ont été récoltées et décortiquées. Les rendements ont été déterminés par la formule suivante :

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Masse de graines} \times 10}{\text{Surface du quadrat}}$$

avec :

Rendement en graines (t ha⁻¹),

Masse de graines (kg),

Surface du quadrat (m²).

Les masses de 1000 graines du quadrat ont été également déterminées.

ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES

Les résultats ont été analysés à l'aide du logiciel Statistica 7.1 afin d'évaluer les différences entre les traitements. Le test de Newman-keuls, au seuil de 5 p.c., a été fait pour comparer les moyennes.

RESULTATS

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES INITIALES DU SOL

Le sol est limoneux et faiblement acide. Sa teneur en matière organique est faible, respectivement, 1,36 et 1,13 p.c. dans les

couches 0-20 et 20-40 cm, avec une teneur en azote total non satisfaisante dans les deux couches (0,30 ‰). Le rapport C/N est très élevé (26,33) dans la couche 20-40 cm. Le sol est très pauvre en phosphore assimilable. Sa capacité d'échange cationique est faible, avec

des sommes des cations basiques échangeables moyenne (5,73 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) et bonne (6,23 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$). Les taux de saturation en cations échangeables sont moyennes, soit 69,20 p.c. dans la couche 0-20 et 72,53 p.c. dans la couche sous-jacente (Tableau 3).

Tableau 3 : Caractéristiques physiques et chimiques initiales du sol.

Initial physical and chemical characteristics of the soil.

Paramètres	Couches de sol (cm)	
	0-20	20-40
Texture	limoneuse	limoneuse
C org (p.c.)	0,79	0,66
MO (p.c.)	1,36	1,13
N tot (‰)	0,30	0,30
C/N	26,33	22,00
P ass (ppm)	26,50	20,10
Ca ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	2,72	2,74
Mg ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	1,98	2,25
K ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	1,03	1,24
T ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	8,28	8,59
S ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	5,73	6,23
V (p.c.)	69,20	72,53
pH _{eau}	6,07	6,41

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES FERTILISANTS

Les teneurs en matière organique et en magnésium ont diminué, respectivement, de 10,45 et 13,79 p.c. dans la fumure organo-

minérale par rapport à la fumure organique au cours du compostage. La teneur en azote, par contre, a augmenté de 11,11 p.c.. Les teneurs en phosphore et en potassium ont, également, connu une hausse, surtout pour le second, de 70,93 p.c. (Tableau 4).

Tableau 4 : Caractéristiques chimiques des fertilisants.

Chemical characteristics of the fertilizers.

Paramètres	Fertilisants	
	Fumure organique	Fumure organo-minérale
MO (p.c.)	53,88	48,25
N tot (‰)	0,18	0,20
P tot (ppm)	23 800	25 100
Mg (ppm)	2 900	2 500
K (ppm)	7 430	12 700

PARAMETRES DE CROISSANCE

Hauteur des plantes

La croissance des plantes a été plus rapide dans les parcelles à fumure minérale durant les 45 premiers jours de 9,59 à 37 cm. Durant la

deuxième moitié de la durée de mesure, la fumure organo-minérale a eu les meilleurs effets, avec des hauteurs allant de 66,70 à 105,85 cm, suivie par la fumure organique, avec 66,15 à 102,30 cm. La croissance des plantes dans les parcelles témoins a été la plus lente (Tableau 5).

Tableau 5 : Evolution de la hauteur (cm) des plantes.

Evolution of the height (cm) of plants.

Traitements	Temps					
	t1	t2	t3	t4	t5	t6
T	9,46 ± 0,84	17,66 ± 1,87	34,20 ± 5,08	59,75 ± 8,54	90 ± 13,06	98,85 ± 11,69
FM	9,59 ± 0,71	19,28 ± 1,11	37,00 ± 2,88	64,6 ± 8,31	93,3 ± 10,62	101,9 ± 11,93
FO	9,48 ± 0,67	17,99 ± 2,26	36,50 ± 6,67	66,1 ± 14,18	92,9 ± 15,24	102,3 ± 15,64
FOM	9,50 ± 0,75	17,46 ± 1,36	35,55 ± 4,72	66,7 ± 6,56	97,15 ± 5,10	105,85 ± 5,73
Moyenne	9,50	18,10	35,78	64,30	93,33	102,23
Probabilité	0,96	0,76	0,69	0,74	0,39	0,34
Significativité	NS	NS	NS	NS	NS	NS

T : témoin, FO : fumure organique, FOM : fumure organo-minérale, FM : fumure minérale, NS : différence non significative au seuil de 5 p.c..

Diamètre au collet des plantes

Le diamètre au collet des plantes s'est accru plus rapidement dans les 45 premiers jours dans les parcelles à fumure minérale (0,35 à 0,86 cm). Au cours de la deuxième moitié de la durée de

mesure, la fumure organo-minérale a été plus efficace, avec des diamètres allant de 1,02 à 1,26 cm. L'augmentation du diamètre des plantes dans les parcelles témoins a été la plus faible (Tableau 6).

Tableau 6 : Evolution du diamètre (cm) au collet des plantes.

Evolution of the diameter (cm) at the collar of the plants.

Traitements	Temps					
	t1	t2	t3	t4	t5	t6
T	0,34 ± 0,01	0,52 ± 0,05	0,79 ± 0,11	0,99 ± 0,14	1,11 ± 0,13	1,15 ± 0,11
FM	0,35 ± 0,02	0,56 ± 0,06	0,86 ± 0,06	1,07 ± 0,10	1,15 ± 0,07	1,17 ± 0,05
FO	0,35 ± 0,01	0,56 ± 0,06	0,84 ± 0,17	1,10 ± 0,11	1,19 ± 0,09	1,24 ± 0,09
FOM	0,37 ± 0,01	0,52 ± 0,03	0,84 ± 0,04	1,02 ± 0,07	1,23 ± 0,12	1,26 ± 0,14
Moyenne	0,35	0,54	0,83	1,04	1,17	1,21
Probabilité	0,14	0,71	0,85	0,56	0,46	0,39
Significativité	NS	NS	NS	NS	NS	NS

T : témoin, FO : fumure organique, FOM : fumure organo-minérale, FM : fumure minérale, NS : différence non significative au seuil de 5 p.c..

Indice de vigueur des plantes

La croissance de la vigueur des plantes a été plus importante dans les parcelles à fumure minérale durant la première moitié de la durée

de mesure, de -0,03 à 1,32. Pendant la deuxième moitié, la fumure organo-minérale a donné les indices les plus élevés, avec des valeurs allant de 1,73 à 2,11. Les indices dans les parcelles témoins ont été les plus faibles (Tableau 7).

Tableau 7 : Evolution de l'indice de vigueur des plantes.

Evolution of the plants vigor index.

Traitements	Temps					
	t1	t2	t3	t4	t5	t6
T	-0,05 ± 0,03	0,58 ± 0,13	1,21 ± 0,19	1,65 ± 0,18	1,93 ± 0,15	2,008 ± 0,12
FM	-0,03 ± 0,04	0,67 ± 0,10	1,32 ± 0,10	1,75 ± 0,10	1,98 ± 0,03	2,04 ± 0,01
FO	-0,02 ± 0,07	0,64 ± 0,14	1,28 ± 0,29	1,78 ± 0,18	2,01 ± 0,13	2,08 ± 0,13
FOM	0,02 ± 0,05	0,57 ± 0,09	1,29 ± 0,07	1,73 ± 0,08	2,06 ± 0,06	2,11 ± 0,74
Moyenne	-0,02	0,62	1,28	1,73	1,99	2,06
Probabilité	0,30	0,64	0,84	0,61	0,46	0,40
Significativité	NS	NS	NS	NS	NS	NS

T : témoin, FO : fumure organique, FOM : fumure organo-minérale, FM : fumure minérale, NS : différence non significative au seuil de 5 p.c..

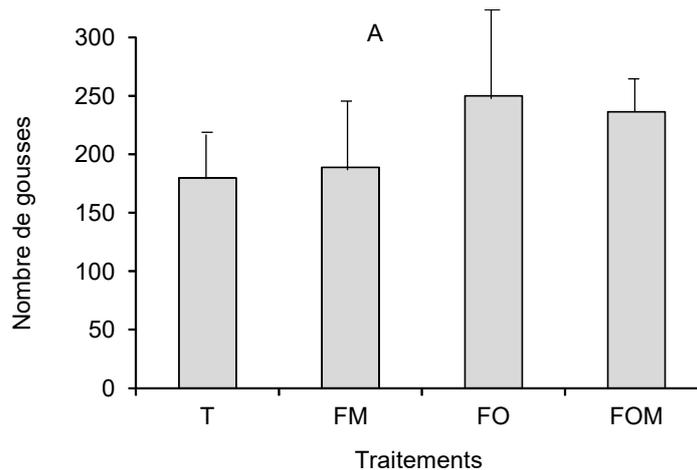
PARAMETRES DE RENDEMENT

Le nombre de gousses le plus élevé (250) a été obtenu dans les parcelles à fumure organique. Les parcelles témoins ont donné le plus faible nombre de gousses (178) (Figure 2A).

Le rendement en graines le plus élevé a été enregistré dans les parcelles témoins (1,06 t ha⁻¹). Les parcelles à fumure minérale ont donné

les plus faibles rendements (0,63 t ha⁻¹) (Figure 2B).

La masse de 1000 graines la plus élevée (112,25 g) a été obtenue dans les parcelles à fumure organique. Les parcelles témoins ont donné les plus faibles masses (101 g) (Figure 2C). Ces paramètres n'ont pas présenté de différence significative ($p > 0,05$).



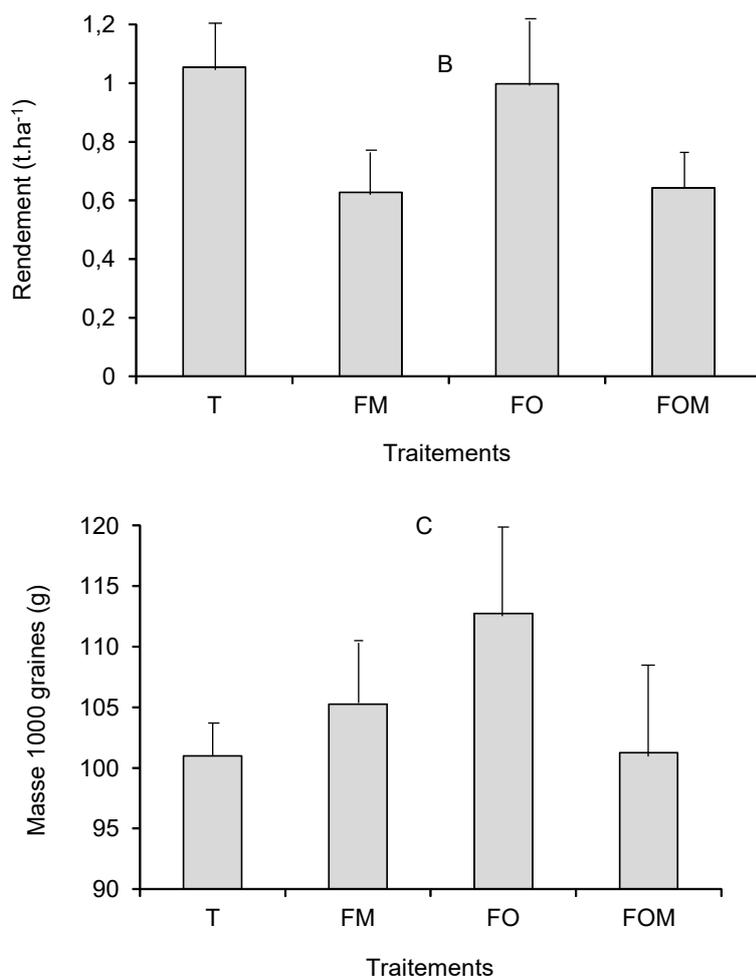


Figure 2 : Effet des traitements sur les paramètres de rendement.

Effect of treatments on yield parameters.

A : Effet sur le nombre de gousses ; B : Effet sur le rendement ; C : Effet sur la masse de 1000 graines ; témoin (T) ; fumure minérale (FM) ; fumure organique (FO) ; fumure organo-minérale (FOM).

DISCUSSION

FERTILITE INITIALE DU SOL DE L'ESSAI

Les caractéristiques physiques et chimiques du sol de l'essai montrent un niveau de fertilité faible, avec une faible acidité liée au taux de saturation en cations échangeables qui est moyen. Cela est dû à son exploitation continue durant plusieurs années, avec une texture limoneuse, qui contribue à la baisse de son potentiel cultural (Deblay, 2006 ; Gnahoua *et al.*, 2008).

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES FERTILISANTS

L'enrichissement des fertilisants a entraîné une accélération de la décomposition de la matière

organique et, par conséquent, une chute de sa teneur et celle en magnésium, au cours du compostage du fait de la stimulation de l'activité biologique par l'apport d'azote, à travers l'urée, dont la teneur a augmenté. Toutefois, les teneurs en phosphore et en potassium ont connu une hausse liée à l'enrichissement.

PARAMETRES DE CROISSANCE

La fumure minérale a eu les meilleurs effets sur les paramètres de croissance du soja, notamment la hauteur, le diamètre au collet et l'indice de vigueur des plantes en début de croissance. Cela s'explique par le fait que la fumure minérale, disposant d'éléments minéraux directement assimilables, aurait favorisé la croissance rapide des plantes. Mais, durant la deuxième moitié de sa durée de croissance, la

fumure organo-minérale a mieux contribué à la croissance des plantes. En effet, les quarante-cinq premiers jours ont permis à la matière organique de se décomposer et de fournir aux plantes, par la suite, des nutriments en plus de ceux qui y ont été apportés pendant le compostage. La combinaison de ces deux actions a stimulé la croissance des plantes en créant un environnement racinaire favorable, non seulement à l'assimilation des nutriments, mais aussi à la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Cela est conforme aux résultats de plusieurs travaux, en Afrique subsaharienne, qui ont indiqué que les engrais minéraux combinés à la matière organique amélioraient le développement des cultures (Kaho *et al.*, 2011 ; Nyembo *et al.*, 2012).

PARAMETRES DE RENDEMENT

La fumure organique a favorisé une meilleure production de gousses par les plantes. La matière organique, seule, aurait mis du temps pour se décomposer, surtout que le sol en était initialement pauvre et donc ayant une faible activité biologique. Ce qui entraîne ses effets à ce stade de développement des plantes. De plus, les fumures organique et organo-minérale ont été appliquées à faible dose (10 t ha^{-1}), inférieure à celles qui sont appliquées dans la plupart des cas (Olaniyi *et al.*, 2010 ; Useni *et al.*, 2013 ; Nyembo *et al.*, 2014). C'est ce qui expliquerait le fait que les rendements obtenus soient inférieurs au rendement potentiel de la variété, à savoir 2 t ha^{-1} , surtout concernant la première citée.

Les parcelles témoins ont enregistré les meilleurs rendements en graines. En effet, le soja étant une légumineuse, il assure sa nutrition minérale azotée grâce à la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Cela expliquerait le rendement en graines élevé du témoin par rapport aux autres traitements. Le faible rendement des fumures minérale et organo-minérale serait dû à la perturbation de l'activité microbienne de fixation de l'azote atmosphérique par la fumure minérale. Ainsi, le soja a tendance à produire peu en présence de fertilisants minéraux. Toutefois, Nziguheba *et al.* (1998) ont trouvé que la combinaison de matière organique avec de la fumure minérale améliorerait la production du maïs, qui n'est pas une légumineuse, dans les sols pauvres à l'ouest du Kenya.

Comme pour le nombre de gousses, la fumure

organique a permis d'obtenir la masse de 1000 graines la plus élevée. Cette fumure, en dépit de sa durée de décomposition, a fortement contribué à la mise à la disposition des plantes des nutriments nécessaires à la formation des graines. Cela conforte les travaux de Cobo *et al.* (2002) qui ont montré que le taux de décomposition de la matière organique et l'augmentation de la production étaient étroitement liés à la synchronisation entre la libération des nutriments et leur assimilation par la plante. Aussi, l'effet de la fumure organique à base de fiente de volaille et d'excréments de bœuf a-t-il été confirmé par Kouakou (2002), en Côte d'Ivoire, où son application a entraîné une augmentation de la production de *Vigna subterranea* (voandzou). Il est également établi que les sols déficients en azote, comme celui de cet essai, sont susceptibles de répondre mieux à l'application des fumures organiques (Kaho *et al.*, 2011) qui y jouent un rôle trophique et améliorent, en même temps, ses propriétés (Mulaji, 2010).

Toutefois, le manque d'eau au cours de la production des gousses aurait entraîné un ralentissement des activités physiologiques des plantes (Khouni, 2015) et des activités des microorganismes qui jouent un rôle essentiel dans la minéralisation des matières organiques du sol comme l'a souligné Frisque (2007).

CONCLUSION

Des fumures organique et organo-minérale à base de déchets végétaux et animaux ont été utilisées, comparativement à la fumure minérale, en vue d'évaluer leurs effets sur les paramètres de croissance et de rendement du soja sur un sol peu fertile. Il ressort des résultats qu'à la dose de 10 t ha^{-1} , la fumure organo-minérale a favorisé une croissance rapide des plantes au cours de la deuxième moitié de leur cycle. La fumure organique a permis d'obtenir le meilleur nombre de gousses et la meilleure masse de 1000 graines, quand le témoin a enregistré le rendement le plus élevé. Toutefois, les rendements obtenus ont été inférieurs au rendement potentiel de la variété de soja cultivée.

Ainsi, les effets des fumures organo-minérale et organique sur le soja se sont exprimés, respectivement, à travers la croissance et certains paramètres du rendement. Le rendement en graines n'a pas été favorablement impacté.

Toutefois, pour obtenir de meilleurs rendements en graines, une mise en place des cultures, à une période convenable leur permettant de boucler le cycle cultural et éviter, par conséquent, un déficit hydrique, serait nécessaire.

REMERCIEMENTS

Ces travaux scientifiques ont bénéficié du soutien financier de la Commission de la Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) et de l'Agence Espagnole de Coopération Internationale pour le Développement (AECID) dans le cadre du projet d'Appui à la politique agricole régionale de la CEDEAO, ECOWAP/PDDAA, auxquelles nous exprimons nos remerciements. Nous remercions, également, Helen Keller International pour ses soutiens matériel et financier.

REFERENCES

- Assa A., 2005. Précis de Pédologie. EDUCI, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 92 p.
- Beaudou A. G. et Sayol R., 1980. Etude pédologique de la région de Boundiali - Korhogo (Côte d'Ivoire). Cartographie et typologie sommaire des sols. Feuille Boundiali, Feuille Korhogo. Notice explicative n° 84, ORSTOM, Paris, 48 p.
- Bockman C., Kaarstad O. et Lie H., 1990. Fertilizers and biological nitrogen fixation as sources of plant nutrients : Perspectives for future agriculture. *Plant and Soil*, vol 194, pp 11-14.
- Boyer J., 1982. Sols ferrallitiques, Facteurs de fertilité et utilisation des sols, Tome X, Eds. ORSTOM, Paris, 384 p.
- Cobo J. G., Barrios E., Kaas D. C. L et Thomas R.J., 2002. Nitrogen mineralization and crop uptake from surface-applied leaves of green manure species on a tropical volcanic-ash soil. *Biology and fertility of soils*, vol 36, pp 87 - 92.
- Deblay S., 2006. Fertilisation et amendements. Educagri éditions, 2^{ème} édition, Paris, 129 p.
- Diallo R., 1981. La culture du soja en Côte d'Ivoire. Note de synthèse concernant les données de base pour l'élaboration des fiches techniques. BEDPA, Ministère de l'Agriculture, Abidjan, 63 p.
- FAO, 1998. FOASTAT prodstat data. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- FAO, 2004. Introduction : le phosphore dans le système sol-plante. *In* Division de la mise en valeur des terres et des eaux. FAO, Rome, Italie, 7 p.
- FAO, IUSS, GSP, 2014. World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World soil resources reports 106. FAO, Rome, 181 p.
- Frisque M., 2007. Gestion des matières organiques dans les sols cultivés en Région wallonne : avantages agronomiques, avantages environnementaux et séquestration du carbone. Master en Sciences et Gestion de l'environnement, 16 p.
- Giller et Dashiell, 2007. Glycine max (L) Merrill. Fiche de Protabase. PROTA (Plant resources of Tropical Africa/Ressources Végétales de l'Afrique Tropicale), Wageningen, Pays Bas. Site: <http://database.proba.org/recherche.htm>.
- Gnahoua G. M., Kouassi Y. F., Angui T. K. P., Ballé P., Olivier R. et Peltier R., 2008. Effets des jachères à *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis* et *Chromolaena odorata* sur la fertilité des sols et les rendements de l'igname (*Dioscorea* spp.) en zone forestière de Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 20 : (3), pp. 291 - 301.
- Kaho F., Yemefack M., Tegwefou F. et Tchanthaouang J.C., 2011. Effet combiné de feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur le rendement du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au centre du Cameroun. *Tropicultura*, vol 29, pp 39 - 45.
- Khouni I., 2015. Biologie et Physiologie Végétales, alimentation en eau. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Université Virtuelle de Tunis. Biologie et Physiologie Végétales, 16 p.
- Kotchi V., Yao K. A. et Sitapha D., 2010. Réponse de cinq variétés de riz à l'apport de phosphate naturel de Tilmes (Mali) sur les sols acides de la région forestière de Man (Côte d'Ivoire). *J. appl. Biosc.* Vol 31, pp 1895 - 1905.
- Kouakou K., 2002. Effet de la litière de volaille et du fumier de bovin sur quelques paramètres de croissance de voandzou (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.). Mémoire de Maîtrise, Université d'Abobo-Adjamé, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Nature, Abidjan (Côte d'Ivoire), 21 p.

- Kouamé C., N'Gbesso M., Adako M. et Tahouo O., 2007. Bien cultiver le soja en Côte d'Ivoire. Fiche technique, CNRA, CTA, 4 p.
- Mako F. P. N., Kouamé N. C. et Goli P. Z., 2013. Evaluation finale du rendement et des paramètres phytosanitaires de lignées de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] dans deux zones agro écologiques de savane de Côte d'Ivoire. *Biol. Chem. Sci.*, 7 (2), pp 574 - 583.
- Mulaji K. C., 2010. Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Thèse de doctorat, Gembloux Agro bio tech, 220 p.
- Nyembo K. L., Kisimba M. M., Théodore M. M., Jonas J., Kanyenga L.A., Becker N. K., Mpundu M. M. et Baboy L. L., 2014. Effets de doses croissantes de composts de fumiers de poules sur le rendement de chou de chine (*Brassica chinensis* L.). *Journal of Applied Biosciences*, vol 77, pp 6505 - 6522.
- Nyembo K. L., Useni S. Y., Mpundu M.M, Bugeme M. D., Kasongo L. E. et Baboy L. L., 2012. Effets des apports des doses variées de fertilisants inorganiques (NPKS et Urée) sur le rendement et la rentabilité économique de nouvelles variétés de *Zea mays* L. à Lubumbashi, Sud-Est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, vol 59, pp 4286 - 4296.
- Nziguheba G., Palm C. A., Buresh R. J. et Smithson P. C., 1998. Soil phosphorus fractions and absorption as affected by organic and inorganic sources. *Plant and Soil*, vol 198, pp 159 - 168
- OCDE, 1999. L'économie locale de Korhogo et de sa zone d'influence : rapport de synthèse, Paris, 7 p.
- Olaniyi J. O., Akanbi W. B., Olanira O. A. et Ilupeju O. T., 2010. Effet of organic, inorganic and organo-mineral on growth, fruit yield and nutritional composition of okra (*Abelmoscus esculentus*). *Journal of Animal and Plant Sciences*, vol 9, pp 1135 - 1140.
- Soltner D., 2003. Les bases de la production végétale. Le sol et son évolution. Collection Sciences et Techniques Agricoles. 23^e Edition, Tome I, 472 p.
- Useni S.Y., Chukiyabo K.M., Tshomba K.J., Muyambo M.E., Kapalanga K.P., Ntumba N.F., Kasangij K.P., Kyungu K., Baboy L.L., Nyembo K.L. et Mpundu M. M., 2013. Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays* L.) sur un ferralsol du sud-est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, vol 66, pp 5070 - 5081.