



Effets de l'application de différents fertilisants sur la fertilité des sols, la croissance et le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. dans la Commune de Gandon au Sénégal

Mariama Dalanda Diallo^{1*}, Bakary Diaté¹, Papa Madiallacké Diédhiou¹, Siré Diédhiou², Touroumgaye Goalbaye⁴, Emmanuel Doelsch³, Aliou Diop⁵, Aliou Guissé⁶

⁽¹⁾Université Gaston Berger de Saint-Louis. UFR des Sciences Agronomiques, de l'Aquaculture et des Technologies Alimentaires. Section Productions Végétales et Agronomie. BP. 234 Saint-Louis (Sénégal). E-mail : mariama-dalanda.diallo@ugb.edu.sn

⁽²⁾Université Assane Seck de Ziguinchor. UFR de Sciences et Technologie. Département d'Agroforesterie. BP. 523 Néma, Ziguinchor (Sénégal)

⁽³⁾UR Recyclage et Risque. Département PERSYST. CIRAD BP 80 13545 Aix-en-Provence Cedex 4 (France)

⁽⁴⁾Université de Sarh. Institut Universitaire des Sciences Agronomiques et de l'Environnement (IUSAE). BP 105 Sarh (Tchad)

⁽⁵⁾Université Gaston-Berger de Saint-Louis. UFR des Sciences Appliquées et Technologie. Section Mathématiques Appliquées.. BP. 234 Saint-Louis (Sénégal)

⁽⁶⁾Université Cheikh Anta Diop. Faculté des Sciences et Techniques. Département de Biologie Végétale. Observatoire Homme-Milieus international de Tébékéré. B.P. 5005 Dakar-Fann (Sénégal)

Reçu le 28 juin 2019, accepté le 13 juillet 2019

RESUME

Description du sujet. Au Sénégal, les sols sont généralement de texture sableuse, caractérisés par une faible teneur en éléments nutritifs avec une incidence directe sur les rendements des cultures. Une meilleure option de fertilisation basée sur la disponibilité de la matière organique locale a pour effet d'augmenter la production agricole.

Objectifs. L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets de l'application de différentes matières organiques (compost, litières de *Faidherbia albida* A. CHEV. et de *Casuarina equisetifolia* FORSK.) et minérale (N-P-K 10-10-20 et urée 46%) sur la fertilité du sol, la croissance et le rendement de la variété Souna 3 du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.).

Méthodes. L'étude a été effectuée à la ferme agricole de l'Université Gaston Berger de Saint Louis au Nord du Sénégal, au cours de la saison pluvieuse de l'année 2016. Le dispositif expérimental utilisé était le plan en blocs aléatoires randomisés avec quatre répétitions et six traitements. Les traitements appliqués sont : T0 (témoin sans apport de fertilisant), T1 (N-P-K 10-10-20 150 kg ha⁻¹ et l'urée 100 kg ha⁻¹), T2 (litière de *F. albida* 5 t ha⁻¹), T3 (litière de *C. equisetifolia* 5 t ha⁻¹), T4 (2,5 t ha⁻¹ des litières de *F. albida* + 2,5 t ha⁻¹ de *C. equisetifolia*), et T5 (compost à base de résidus végétaux et de déjections animales 10 t ha⁻¹).

Résultats. Les résultats obtenus ont montré que le traitement à base de la fertilisation minérale (T1) a significativement influencé la croissance en hauteur ($p = 0,056$), les biomasses aérienne ($p = 0,0281$) et racinaire ($p = 0,0374$) et le rendement en grains du mil ($p = 0,0015$) comparativement au témoin (T0) au seuil de 5%. Les autres traitements n'ont pas montré d'effets significatifs par rapport au témoin concernant la croissance et le rendement du mil. Le rendement le plus élevé obtenu était de 1656,70±349,20 kg ha⁻¹ (T1).

Conclusion. Les études sur l'utilisation de ces matières en grande culture sont nécessaires avant la diffusion de cette technologie en milieux paysans.

Mots Clés : Fertilisants, croissance, production, *Pennisetum glaucum*, Sénégal.

ABSTRACT

Effects of application of different fertilizers on soil fertility, growth and yield of millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. in Gandon Commune in Senegal

Description of the subject. In Senegal, soils are generally sandy in texture, characterized by a low nutrient content with a direct impact on crop yields. A better fertilization option based on the availability of local organic matter has the effect of increasing agricultural production.

Objectives. The objective of this study is to evaluate the effects of the application of different organic materials (compost, litter of *Faidherbia albida* A. CHEV and *Casuarina equisetifolia* FORSK.) and mineral (NPK 10-10-20 and urea 46 % nitrogen) on soil fertility and growth and yield of Souna 3 variety of millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.).

Methods. The study was conducted at the Gaston Berger University agricultural farm in Saint Louis, northern Senegal, during the rainy season of 2016. The experimental design used was the randomized random block design with four replicates and six treatments. The applied treatments are: T0 (control without fertilizer), T1 (NPK 10-10-20 150 kg ha⁻¹ and urea 100 kg ha⁻¹), T2 (litter of *F. albida* 5 t ha⁻¹), T3 (litter of *C. equisetifolia* 5 t ha⁻¹), T4 (2.5 t ha⁻¹ litter of *F. albida* + 2.5 t ha⁻¹ de *C. equisetifolia*), and T5 (compost with vegetable residues and animal dung 10 t ha⁻¹).

Results. The results obtained showed that mineral fertilization (T1) treatment significantly influenced growth in height ($p = 0.056$), aerial biomass ($p = 0.0281$) and root biomass ($p = 0.0374$) and grain yield of millet ($p = 0.0015$) compared with the control (T0) at the 5 %. Other treatments did not show significant effects on the control of millet growth and yield. The highest yield obtained was 1656.70 ± 349.20 kg ha⁻¹ (T1).

Conclusion. Studies on the use of these materials in the field are necessary before the diffusion of this technology in peasant environments.

Keywords: Fertilizers, growth, production, *Pennisetum glaucum*, Senegal.

1. INTRODUCTION

Au Sénégal, la baisse des rendements des cultures de base (mil et sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) et industrielles (tomate : *Lycopersicon esculentum* Mil. et arachide : *Arachis hypogaea* L.) témoigne de la diminution de la fertilité des sols et de l'instabilité des conditions climatiques (Diack *et al.*, 2017). Pour Robertson *et al.* (2014), l'une des causes majeures de la réduction de la productivité agricole en Afrique tropicale est l'appauvrissement du sol, tant chimique que physique, entraînant une perte en nutriments et des réserves en matière organique. Par ailleurs, la teneur du sol en argile est aussi très faible (de 2 à 6 %) et les sols sont en majeure partie constitués de sables fins. La richesse chimique du sol se situe à un niveau très bas pour tous les éléments nutritifs et la carence la plus accentuée est celle de la matière organique en plus de l'azote et du phosphore (Diack et Loum, 2014).

Depuis des temps immémoriaux, la matière organique du sol (MOS) a été toujours été considérée comme le principal indicateur de la fertilité du sol en raison de son incidence sur les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol (Robertson *et al.*, 2014). Elle accroît la capacité d'aération et de rétention d'eau, fournit un habitat aux organismes du sol qui alimentent le cycle nutritif, conserve et fournit des nutriments essentiels à la productivité des cultures (Brady et Weil, 2007). Les effets d'une MOS supplémentaire sur ces sols permettrait de pallier aux besoins des cultures en éléments nutritifs et améliorer la fertilité des sols (Feller *et al.*, 2012). L'apport d'intrants, comme les résidus végétaux, le compost ou le fumier, peut avoir des effets sur les rendements indépendamment de la teneur initiale en MOS (Oldfield *et al.*, 2015), en particulier dans les climats arides (Pittelkow *et al.*, 2014). Ainsi, en assurant aux sols une productivité plus stable et durable, on contribue à diminuer la dépendance des producteurs à l'égard d'intrants externes comme les

engrais minéraux et l'irrigation (Oldfield *et al.*, 2015 ; Hatfield *et al.*, 2017).

Les méthodes d'incorporation des matières organiques exogènes aux sols en usage, consistant à enfouir directement les résidus, lors de la préparation du sol, et avant l'installation des cultures, ont montré une faible efficacité. Utilisés seuls selon de telles méthodes, les amendements peuvent avoir un effet dépressif sur les cultures (Diallo, 2005 ; Diallo *et al.*, 2016). Cette recherche se propose d'utiliser ces produits selon diverses formules : matières organiques broyées, mélange de matières organiques ou sous forme de compost.

L'objectif global de cette étude est d'évaluer l'effet des différentes matières organiques (compost, litières de *Faidherbia albida* A. CHEV. et de *Casuarina equisetifolia* FORSK.) et minérale (N-P-K 10-10-20 et urée 46 % d'azote) sur la fertilité du sol, la croissance et le rendement de la variété Souna 3 du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) dans les conditions écologiques du Gandon au Sénégal.

L'intérêt de ce travail est de contribuer à la valorisation des matières organiques disponibles localement en vue de réduire les coûts de production et d'améliorer le rendement du mil.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Site d'étude

L'étude a été conduite du 18 août au 16 novembre 2016 à la ferme agricole de l'Université Gaston Berger (UGB) de Saint-Louis (Figure 1) qui couvre une superficie de 33 ha. La ferme est située à Sanar Woloff (16°18'N, 16°29'O et à 4 m d'altitude), et à 12 km de la ville de Saint-Louis (Commune de Gandon, Département et Région de Saint-Louis). Le climat du site d'étude est du type sub-canarien à sahélien. Il est caractérisé par deux saisons, une saison sèche allant de novembre à juin et une saison

pluvieuse de juillet à octobre. Le relief est plat et l'alizé (vent frais et humide) souffle de novembre à mars, tandis que l'harmattan (vent chaud et sec), va dans la direction Est-ouest d'avril à juin. Les précipitations annuelles sont faibles et varient entre 100 et 200 mm (Diack et Loum, 2014). Les températures maximales enregistrées aux mois d'avril et mai sont généralement comprises entre 35 °C et 37 °C. Les températures minimales sont observées en janvier (16 °C). Les eaux de surface, provenant essentiellement du *Djeuss* (un affluent du fleuve Sénégal situé à 1 km de la ferme), permettent l'irrigation des cultures sur le périmètre de la ferme.

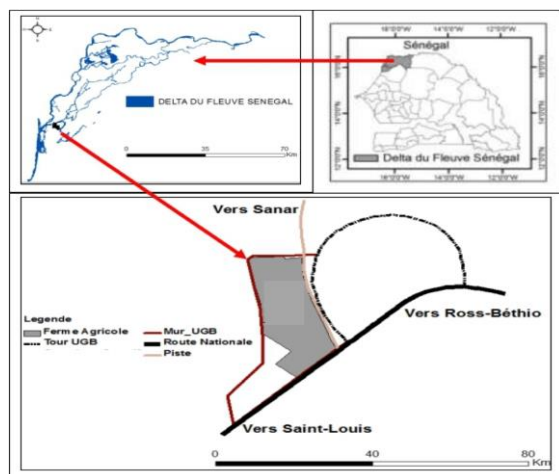


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Les conditions climatiques pendant la période expérimentale (du 18 août au 16 novembre 2016) sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Conditions climatiques dans la commune de Gandon (région de Saint Louis) au cours de la période expérimentale

Mois (2016)	Température moyenne (°C)	Pluviométrie (mm)	Humidité relative (%)
Août	28,60	36,40	78,50
Septembre	29,10	127,70	81,50
Octobre	29,10	0,60	71,00
Novembre	28,70	0,80	58,00

Source : Agence nationale de l'aviation civile et de la météorologie (ANACIM, 2016)

Les sols de la zone d'étude appartiennent, selon le référentiel pédologique, à la classe des Arénosols ferrugineux (AFES, 2008 ; WRB, 2014). La végétation est composée d'espèces suivantes : *Acacia tortilis* var. *raddiana* (Savi) Brenan, *Balanites aegyptiaca* Delile, *Prosopis juliflora* (SW.) DC. et *Euphorbia balsamifera* Aiton.

2.2. Matériel

Litières

Deux types de litières ont été utilisés dans cette étude et elles appartiennent à des familles différentes. Il s'agit des litières de *Faidherbia albida* A. Chev. (*Mimosaceae*) et de *Casuarina equisetifolia* Forsk. (*Casuarinaceae*). L'espèce *F. albida* est originaire d'Afrique de l'Ouest alors que *C. equisetifolia* est une espèce exotique. Ces ligneux sont des essences forestières généralement utilisées dans les plantations agroforestières au Sénégal pour l'amélioration de la fertilité des sols (Diallo *et al.*, 2008).

Prélèvement des litières

Le prélèvement des litières a été effectué entre mars et mai 2016. La litière de *C. equisetifolia* a été prélevée sous les arbres dans la commune de Gandon (Département et Région de Saint-Louis) au niveau des plantations de fixation des dunes le long de la mer. Pour la litière de *F. albida*, le prélèvement a été effectué sur l'arbre dans les Départements de Louga et de Kébémér. Une fois prélevées, les litières ont été séchées à l'air libre pendant deux semaines et ensuite stockées dans des sacs et mises à l'abri du soleil et de l'humidité.

Composition biochimique des matières organiques utilisées

La composition biochimique de la litière des deux espèces végétales et du compost (Tableau 2) a été déterminée sur les échantillons séchés à l'air libre pendant deux semaines, puis broyés et tamisés à 0,2 mm. Le compost a été fabriqué à partir des litières de *F. albida* et *C. equisetifolia* mélangées avec de la bouse de vaches, et la préparation du compost a pris quatre mois. Les échantillons de sols, prélevés à l'aide d'une tarière dans chaque parcelle entre 0 et 10 cm de profondeur, ont été analysés au laboratoire du CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherches Agronomiques pour le Développement), à Montpellier en France. La teneur en azote a été mesurée selon la méthode de Kjeldahl. Le carbone soluble a été extrait en mélangeant 2 g de feuilles avec 60 ml d'eau froide pendant 2 heures. Le carbone extrait a été dosé selon la méthode de la demande chimique en oxygène (DCO), en utilisant la méthode HACH (Jirka & Carter, 1975).

Tableau 2. Composition biochimique des matières organiques utilisées

Matière organique	Phénols solubles	Lignine	Cellulose (%)	Hémicellulose	Corg (mg g ⁻¹ MS)	N total	C/N
	(mg g ⁻¹)					(mg g ⁻¹ MS)	
<i>Faidherbia albida</i>	7,10b	21,30a	19,60b	11,30a	428,30a	20,00a	21,40a
<i>Casuarina equisetifolia</i>	18,90a	20,40a	32,20a	15,10a	471,90a	13,60a	34,80a
Compost	0,70c	15,20b	10,20c	5,50b	64,30b	11,10a	11,20b

Légende : Corg : carbone organique; MS : Matière sèche

Semences du mil

La variété Souna 3 a été utilisée et les semences ont été fournies par le Centre de Recherches Agricoles de Bamby (CRA/ISRA Bamby). Un échantillon de semence a été soumis à un test de germination avant le semis et le taux de germination obtenu au bout de 3 jours a été de 100 %.

2.3. Méthodes

Préparation du sol

Les travaux de préparation du sol effectués sont le labour à l'aide d'une charrue à disque à la profondeur de 20 cm, suivi du hersage.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé était le plan en blocs aléatoires randomisés avec quatre répétitions et six traitements. Les traitements appliqués sont : T0 (témoin), T1 (N-P-K 150 kg ha⁻¹ et Urée 100 kg ha⁻¹), T2 (litière de *F. albida* 5 t ha⁻¹), T3 (litière de *C. equisetifolia* 5 t ha⁻¹), T4 (2,5 t ha⁻¹ des litières de *F. albida* + 2,5 t ha⁻¹ de *C. equisetifolia*), et T5 (compost à base de résidus végétaux et de déjections animales 10 t ha⁻¹).

Le champ expérimental était composé de 24 parcelles élémentaires de 25 m² dont chacune comprenait deux lignes de bordure et trois lignes d'observation. Les écartements étaient de 1 m entre les parcelles élémentaires et de 2 m entre les blocs. La superficie du champ expérimental était de 1312 m² (41 m × 32 m).

Les litières ont subi une fragmentation avant l'incorporation au sol et cette action consistait à faciliter la décomposition d'une part et les manipulations d'autre part, du fait de la présence d'épines chez *F. albida*.

Semis et entretien

La culture a été conduite conformément aux exigences techniques du mil pour une durée de 90 jours (du 18 août au 16 novembre 2016). Le semis a été réalisé en raison d'une pincée de grains par poquet. L'écartement était de 90 cm entre les poquets et de 90 cm entre les lignes. Le démariage est

intervenu 15 jours après la levée, à raison de trois plants par poquet. L'arrosage s'est fait quotidiennement au moyen d'un système d'irrigation goutte-à-goutte avec un débit de 1 litre par jour/poquet sous une pression de 1 bar. Le N-P-K a été appliqué sous forme de fumure de fond (150 kg ha⁻¹) et l'urée sous forme de fumure d'entretien (100 kg ha⁻¹ : 50 kg ha⁻¹ au tallage et 50 kg ha⁻¹ à la montaison).

Paramètres observés

Les paramètres de croissance du mil notamment le nombre de talles, le nombre de feuilles, la hauteur de la tige principale et le diamètre au collet ont été mesurés au moment de la floraison selon la méthode d'échantillonnage aléatoire simple. Pour ce faire, dans chaque bloc et pour chaque traitement, tous les poquets de chaque ligne d'observation ont été numérotés et sélectionnés en utilisant la table des nombres au hasard. La hauteur et le diamètre au collet ont été respectivement mesurés à l'aide d'une latte graduée et d'un pied à coulisse.

Concernant les mesures de biomasses sèches aérienne et racinaire, trois poquets ont été sélectionnés par traitement sur les lignes d'observation.

Les biomasses des plantes prélevées ont été déterminées après séchage à l'étuve (80 °C pendant 72 heures) et pesage au moyen d'une balance de précision. Le rendement du mil en grains a été déterminé à la fin de l'expérimentation après maturation complète des fruits. A cet effet, la récolte d'épis a été effectuée sur les lignes centrales de chaque traitement. Les échantillons ont été ensuite étiquetés puis soumis à un séchage au soleil pendant une semaine. Après le séchage, les opérations d'égrainage et de vannage ont été réalisées, et les grains obtenus ont été mis dans des sachets en plastiques, pesés et puis stockés. Le rendement en grains par parcelle a été convertie en kg ha⁻¹.

Analyse du sol

Des échantillons du sol ont été prélevés dans chaque parcelle à une profondeur de 0 - 10 cm grâce à une tarière. Le premier prélèvement a été effectué avant la mise en place de la culture et le deuxième prélèvement à la fin de la période culturale. Ces échantillons ont été analysés au laboratoire de

l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles de Saint-Louis (ISRA/Saint-Louis). Les analyses ont porté sur le taux de carbone organique (Corg), l'azote total (N total), la capacité d'échange cationique (CEC) et les bases échangeables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}).

Le carbone total a été déterminé selon la méthode Walkley-Black (Walkley & Black, 1934), l'azote total selon la méthode Kjeldahl (Hillebrand *et al.*, 1953), après une minéralisation préalable de l'échantillon et de l'azote par distillation. L'échantillon est d'abord oxydé par le dichromate de potassium en milieu sulfurique, puis l'excès du dichromate a été dosé par le sel de Mohr $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ en présence d'indicateur coloré (phénolphthaléine).

Le sodium (Na) et le potassium (K) ont été dosés par photométrie grâce au spectrophotomètre d'absorption atomique, mais le calcium (Ca) et le magnésium (Mg), par volumétrie avec un chélatant, l'EDTA (Éthylènediaminetétraacétique).

Analyse statistique

L'analyse de variance (ANOVA) a été effectuée avec le logiciel SAS version 9.4.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Le test de Student-Newman-Keuls (SNK) a servi pour la comparaison des moyennes des traitements au seuil de probabilité de 5 %.

3. RÉSULTATS

3.1. Analyse du sol

Les résultats de l'analyse du sol sont présentés dans le tableau 3. L'analyse granulométrique montre que le sol étudié est à texture sableuse (92,1 %) et l'argile ne représente que 0,4 %. La proportion en limon était de 5,5 %. L'analyse chimique indique que le pH de l'eau du sol est basique. La quantité du phosphore total mesurée était de 134,40 mg g^{-1} et du phosphore assimilable de 23,23 mg g^{-1} du sol. Le pourcentage du carbone et de l'azote était inférieur à 0,5 %.

Tableau 3. Résultats d'analyse du sol (0-10 cm)

Granulométrie (%)	
Sables	92,10
Limons	5,50
Argiles	0,40
Analyse chimique du sol	
pHeau	7,15
pHKCl	6,48
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C)	81,90
C total (%)	0,35
N total (%)	0,03
C org (g kg^{-1})	3,58
C/N	11,70
P total (mg g^{-1})	134,40
P assim. (mg g^{-1})	23,23
Ca (mEq/ 100 g de sol)	3,02
Mg (mEq/ 100 g de sol)	0,59
Na (mEq/ 100 g de sol)	0,03
K (mEq/ 100 g de sol)	0,24
CEC (mEq/ 100 g de sol)	1,49

La quantité d'éléments minéraux métalliques évaluée a été très faible, de 0,59 mEq/100 g de sol pour le Mg, de 0,03 mEq/100 g de sol pour Na et de 0,24 mEq/100 g de sol pour le K. Pour le calcium, la quantité mesurée était de 3,02 mEq/100 g de sol. La CEC est une indication de la fertilité du sol; plus la CEC est élevée, plus elle peut retenir des cations dans le sol – ces cations peuvent servir à améliorer la structure du sol (Ca^{2+} , par exemple) ou à alimenter les végétaux (NH_4^+ , par exemple). L'analyse du sol a montré que la CEC était de 1,4 mEq/100 g de sol.

3.2. Effets de l'application des fertilisants sur la fertilité du sol

L'application des différents fertilisants (tableau 4) n'a pas influencé significativement le carbone total du sol dont les valeurs ont varié de $0,35 \pm 0,03$ à $0,40 \pm 0,01$ %, comparativement à la valeur initiale avant l'installation de la culture (0,35 %). Pour l'azote total, l'apport des fertilisants n'a pas changé la richesse du sol en cet élément. Le C/N a été inférieur par rapport à la valeur mesurée avant l'installation de la culture (11,00) pour la plupart des traitements appliqués sauf pour l'engrais minéral ($11,39 \pm 3,49$). En effet, il y a une diminution du taux de Ca et de K dans le sol où les différents traitements ont été appliqués par rapport aux valeurs enregistrées avant la culture.

Tableau 4. Influence des fertilisants sur la fertilité du sol

Traitements	Paramètres								
	C total	N total	Carbone organique	C/N	K	Na	Mg	Ca	CEC
	(%)				(mEq/100 g de sol)				
T0 (Témoin sans apport de fertilisant)	0,35±0,03b	0,03±0,01b	0,61±0,06b	9,05±0,64ba	0,08±0,03a	0,06±0,07a	0,88±0,22a	0,07±0,01a	9,54±3,89a
T1 (Engrais minéral)	0,37±0,02b	0,03±0,01b	0,64±0,04ba	11,39±3,49a	0,09±0,02a	0,0±4,0,02a	0,82±0,08a	0,07±0,01a	10,18±0,61a
T2 (Litière de <i>Faidherbia albida</i>)	0,36±0,03ba	0,04±0,01b	0,63±0,06ba	9,01±1,297ba	0,09±0,037a	0,02±0,01a	0,89±0,20a	0,07±0,01a	8,40±5,49a
T3 (Litière de <i>Casuarina equisetifolia</i>)	0,40±0,01a	0,05±0,02a	0,69±0,02a	7,67±2,24b	0,08±0,018a	0,02±0,01a	0,92±0,04a	0,08±0,01a	9,05±3,37a
T4 (Litières de <i>F. albida</i> + <i>C. equisetifolia</i>)	0,38±0,05ba	0,03±0,01b	0,66±0,09ba	10,13±2,01ba	0,07±0,03a	0,02±0,01a	0,94±0,19a	0,08±0,01a	8,73±4,65a
T5 (Compost)	0,37±0,02ba	0,04±0,01b	0,65±0,03ba	9,37±2,25ba	0,08±0,01a	0,02±0,01a	0,92±0,07a	0,07±0,01a	9,70±3,77a

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± écarts types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre sur la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

Légende : T : traitement ; MO : matière organique, CEC : capacité d'échange cationique. T0 (témoin sans apport de fertilisant), T1 (N-P-K 10-10-20 150 kg ha⁻¹ et Urée 100 kg ha⁻¹), T2 (litière de *F. albida* 5 t ha⁻¹), T3 (litière de *C. equisetifolia* 5 t ha⁻¹), T4 (2,5 t ha⁻¹ des litières de *F. albida* + 2,5 t ha⁻¹ de *C. equisetifolia*), et T5 (compost à base de résidus végétaux et de déjections animales 10 t ha⁻¹).

Pour le Na, une réduction de la quantité de cet élément a été observée comparativement à la valeur mesurée avant l'installation de la culture, sauf dans les parcelles témoins. Pour le Mg par contre, la quantité est passée de 0,59 mEq/100 g de sol (avant la culture) à plus de 0,80 mEq/100 g de sol après la culture. La CEC du sol a augmenté sensiblement, passant de 1,49 mEq/100 g de sol avant la culture à plus de 8,0 mEq/100 g de sol après la culture. L'analyse de variance au seuil de probabilité de 5 % a montré des différences significatives et non significatives entre les traitements.

3.3. Effets des fertilisants sur les paramètres de croissance et de rendement du mil

Les effets des fertilisants sur les paramètres de croissance et le rendement du mil ont été présentés dans le tableau 5. L'analyse de la variance (ANOVA) au seuil de 5 % a révélé une différence non significative entre le nombre de talles par pieds ($F=0,84$; $p=0,548$). En ce concerne le nombre de feuilles, l'analyse de variance a montré une différence significative entre T2 et les autres traitements au seuil de probabilité de 5 %.

L'ANOVA appliquée sur le diamètre au collet a révélé une différence non significative entre les traitements au seuil de probabilité de 5% ($F=1,33$; $p=0,30$). La comparaison des moyennes au seuil de probabilité de 5 % a montré d'une part, une différence significative entre les traitements T1 et T5 et d'autre part, une différence non significative entre les autres traitements pour la croissance en hauteur des plants.

Les résultats relatifs à la biomasse aérienne ont révélé une différence significative entre les traitements au seuil de probabilité de 5 % ($F=3,46$; $p=0,0281$). Le test de séparation des moyennes a montré une différence significative entre le

traitement T1 et les autres traitements (T0, T2, T3, T4 et T5). De même, les résultats relatifs à la biomasse racinaire ont montré une différence significative entre les traitements au seuil de probabilité de 5 % ($F=3,18$; $p=0,0374$). Seul le traitement avec l'engrais minéral (T1) a amélioré considérablement la production en biomasse sèche racinaire rapport au témoin sans amendement (T0).

L'analyse de la variance (ANOVA) au seuil de probabilité de 5 % a révélé des différences non significatives entre les traitements en ce qui concerne le nombre de talles par pied. S'agissant du nombre de feuilles par pied, il a varié entre 16,50±5,80 (T2) et 30,00±8,40 (T1) et l'analyse de variance a montré des différences significatives entre quelques traitements. La hauteur des plants observée était plus élevée chez les plants soumis au traitement T1 (201,42 ± 6,80 cm) et des différences significatives ont été trouvées entre les traitements au seuil de probabilité de 5 %. Le diamètre au collet le plus faible a été observé chez le traitement T2 (1,61±0,33 cm) et le plus élevé chez les plants soumis au traitement T1 (1,89±0,12 cm). Les résultats relatifs à la biomasse aérienne sèche ont révélé une différence significative entre les traitements au seuil de probabilité de 5 % ($F=3,46$; $p=0,0281$). Le test de séparation des moyennes a montré une différence significative entre le traitement T1 et les autres traitements (T0, T2, T3, T4 et T5). La biomasse aérienne sèche a varié entre 285,64±47,20 (T1) à 119,71±52,70 g de MS (T2) et le test de comparaison des moyennes a montré une différence significative entre T1 et les autres traitements au seuil de probabilité de 5 %.

De même, les résultats relatifs à la biomasse racinaire ont montré une différence significative entre les traitements seuil de probabilité de 5 % ($F=3,18$; $p= 0,0374$). L'application de l'engrais minéral (T1) a amélioré significativement la biomasse sèche racinaire rapport au témoin (T0).

Tableau 5. Paramètres de croissance et de rendement du mil

Traitements	Nombre de talles	Nombre de feuilles	Hauteur des plants	Diamètre au collet	Biomasse sèche aérienne	Biomasse sèche racinaire	Rendement
			(cm)	(cm)	(g MS)	(g MS)	(kg ha ⁻¹)
T0 (Témoin sans apport de fertilisant)	6,75±0,50a	21,50±2,9ba	174,95±17,30b	1,62± 0,13ba	127,37±31,70b	18,11±6,80b	707,70±241,50b
T1 (Engrais minéral)	7,75±1,00a	30,00±8,40a	201,42±6,80a	1,89±0,12a	285,64±47,20a	38,55±7,80a	1656,70±349,20a
T2 (Litière de <i>Faidherbia albida</i>)	7,25±1,30a	16,50±5,80b	173,27±19,70b	1,61±0,33ba	119,71±52,70 b	21,03±11,9b	684,20±282,60b
T3 (Litière de <i>Casuarina equisetifolia</i>)	7,00±0,80a	21,25±7,00ba	185,37±11,60ba	1,66±0,11ba	182,86 ± 30,30b	22,16 ± 7,80b	854,80±358,90b
T4 (Litières de <i>F. albida</i> + <i>C. equisetifolia</i>)	7,50±1,00a	21,00±6,20ba	178,00±8,10b	1,62 ± 0,20ba	185,89 ± 96,40b	23,57±11,00b	811,0±166,60b
T5 (Compost)	7,5 ± 0,6 a	25,75±1,00ba	187,77±12,8 ba	1,58±0,11b	152,03±83,6b	17,42±90b	1067,70± 141,30b

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± écarts types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre sur la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

Légende : T : traitement ; MO : matière organique, CEC : capacité d'échange cationique. T0 (témoin sans apport de fertilisant), T1 (N-P-K 10-10-20 150 kg ha⁻¹ et Urée 100 kg ha⁻¹), T2 (litière de *F. albida* 5 t ha⁻¹), T3 (litière de *C. equisetifolia* 5 t ha⁻¹), T4 (2,5 t ha⁻¹ des litières de *F. albida* + 2,5 t ha⁻¹ de *C. equisetifolia*), et T5 (compost à base de résidus végétaux et de déjections animales 10 t ha⁻¹).

L'analyse de variance des données concernant le rendement en grains a révélé une différence significative entre les traitements au seuil de probabilité de 5 % ($F= 7,02$; $p= 0,0015$). Le rendement en grains le plus élevé a été observé chez les plants traités avec l'engrais minéral (T1, 1656,70±349,20 kg ha⁻¹).

4. DISCUSSION

Les résultats sur la fertilité du sol ont montré qu'il y a une augmentation du rapport C/N et de la CEC. Ces deux éléments jouent un rôle important sur la décomposition de la MO et sur la disponibilité des éléments nutritifs dans le sols. L'application des fertilisants organiques a permis à améliorer la disponibilité du Na et du Mg. Cela est dû à la minéralisation de la matière organique qui dans un premier temps augmente la quantité d'humus dans le sol, ce qui améliore le nombre de sites électro-négatifs de la CEC et le nombre d'éléments nutritifs dans le sol particulièrement le Na et le Mg. Ces deux cations chargés positivement remplacent sur la CEC les Ca, d'où une diminution de ce dernier et une augmentation des cations échangeables. Nos résultats confirment ceux trouvés par Thuriès *et al.* (2000) qui ont indiqué que la fertilisation organique conduit à une augmentation de la CEC (cas des sols sableux). Ces auteurs ont montré que pour ce type de sol (sableux), il y a une relation étroite entre la teneur en carbone et la CEC.

Pour les paramètres de croissance (nombre de feuilles par plant, diamètre au collet, croissance en hauteur, biomasses aérienne et racinaire) et de rendements en grains du mil, l'application du NPK a donné de meilleurs résultats par rapport aux engrais organiques. Cela s'expliquerait par le fait que l'engrais minéral rend immédiatement disponible les éléments minéraux nécessaires à la croissance végétale (Nyembo *et al.*, 2012). Nos résultats sont en concordance avec ceux de Bationo *et al.* (2004) qui ont démontré l'effet significatif de la fertilisation chimique sur le maïs.

De plus, les résultats de la présente étude ont globalement montré une amélioration non significative des paramètres de croissance et de rendement en grains du mil par les fertilisants organiques à l'exception de la litière de *F. albida* qui a montré un effet dépressif sur la plupart des facteurs mesurés (nombre de feuilles, diamètre au collet, hauteur des plants, biomasses sèche aérienne et racinaire et rendement en grains). L'effet non significatif de ces fertilisants organiques serait lié à la faible disponibilité en éléments nutritifs due au temps de décomposition qui était court (15 jours avant le semis). En effet, les réserves en éléments nutritifs (surtout l'azote) issues de la décomposition seraient insuffisantes pour assurer une bonne croissance des plantes. En outre, la présence des phénols solubles pourrait jouer un rôle négatif dans ce cas précis, car, cet élément est connu pour inhiber la décomposition de la matière organique (Diallo *et al.*, 2015). Les travaux de Culot (2005) sur les

mêmes litières *in situ*, ont montré qu'il fallait au moins sept mois pour que l'effet des litières soit significatif. L'effet dépressif de la litière *F. albida* serait dû à une proportion importante de tiges et de rameaux dans la litière utilisée. Les rameaux, en raison de leur richesse en lignine se dégradent plus lentement que les litières foliaires (Diack & Loum, 2014). D'autres travaux ont montré que l'application de bois raméaux fragmentés (BRF) de *C. equisetifolia* a affecté négativement la croissance et le rendement de la tomate au cours de la première année qui a suivi son application (Ba *et al.*, 2014). Il faut tout de même considérer le fait que la litière de *F. albida* a été prélevée sur l'arbre pour justifier son effet par rapport celle de *C. equisetifolia*. Celle-ci étant prélevée sous l'arbre, le processus de décomposition s'amorcerait avant le ramassage. D'où son influence favorable sur les paramètres de croissance et le rendement du mil comparativement à celui de la litière de *F. albida*.

Plusieurs chercheurs sont parvenus à accroître le rendement des plantes cultivées par l'apport des engrais organiques. Les travaux de Diallo *et al.* (2008) portant sur l'influence de la litière foliaire de cinq espèces végétales tropicales sur la croissance du mil et du maïs en serre ont donné des résultats intéressants sur les cultures testées. La litière de *F. albida* a montré un effet positif sur tous les paramètres de croissance mesurés, à savoir, le nombre de feuilles, le diamètre au collet, la croissance en hauteur et les biomasses sèches racinaire et aérienne. De même, la litière de *C. equisetifolia* avait montré un effet positif sur le diamètre au collet du mil. Sur le maïs, la litière de *F. albida* a amélioré la croissance en hauteur et les biomasses aérienne et racinaire; d'où la nécessité de favoriser la décomposition totale de la matière organique avant l'installation des cultures. D'autres travaux ont révélé que l'apport de la litière de *A. indica* en *mulch* avait permis d'augmenter le rendement du Sorgho (*Sorghum vulgare*) et le degré d'amélioration du rendement était positivement corrélé avec la quantité de feuilles utilisées comme *mulch* (Samba, 2001). Cependant, la durée de la décomposition des litières avant la mise en culture n'a pas permis d'apprécier les effets des différentes litières utilisées. En effet, de nombreux travaux ont montré que l'apport de litière à C/N élevé favorise la croissance des microorganismes responsables de sa dégradation et qui assimilent l'azote minéral du sol, réduisant ainsi sa disponibilité et, par conséquent, les rendements des cultures sont faibles (Smith & Sharpley, 1990 ; Falisse & Lambert, 1994 ; Diallo *et al.*, 2010).

Le mélange des litières de *F. albida* et de *C. equisetifolia* a amélioré le nombre de talles formées et la production de biomasses sèches aérienne et racinaire comparativement à l'application d'une seule litière. L'application de litières à rapport C/N

différents telles que *F. albida* et *C. equisetifolia* permet une meilleure disponibilité de l'azote dans le sol, donc une bonne croissance végétale (Diallo, 2005).

5. CONCLUSION

Ce travail s'inscrit dans la problématique de la restauration de la fertilité des sols par l'apport de litières dans les sols pauvres en matières organiques compte tenue des coûts élevés des engrais minéraux. L'expérience réalisée a montré que le traitement avec l'engrais minéral a permis une meilleure augmentation de la croissance et du rendement en grains du mil par rapports aux amendements organiques (litières de *F. albida* et *C. equisetifolia*, utilisées seules ou mélangées, compost). Les résultats obtenus ont indiqué que l'application des fertilisants organiques deux semaines avant le semis permet une augmentation du C/N et de la CEC ; une meilleure disponibilité du Na et du Mg et une amélioration non significative des paramètres de croissance et de rendement en grains du mil, à l'exception de la litière de *F. albida* qui a montré un effet dépressif sur la plupart des paramètres mesurés (nombre de feuilles, diamètre au collet, hauteur, biomasses sèche aérienne et rendement en grain). Ainsi, pour l'utilisation de la fumure organique, il est conseillé de tenir compte de la nature et de la vitesse de décomposition de la matière utilisée afin de déterminer la période idéale de mise en place des cultures.

L'application seule de l'engrais minéral a donné le rendement le plus élevé mais l'impact sur l'environnement n'est pas négligeable. La combinaison de l'engrais minéral avec les litières de *F. albida* + *C. equisetifolia* permettrait d'améliorer le rendement du mil et de protéger l'environnement.

Cette étude ouvre la voie à la valorisation des matières organiques disponibles localement en grande culture et peut permettre de réduire les coûts de la production agricole. Les matières organiques utilisées n'étaient pas complètement décomposées avant la mise en culture, d'où un effet mitigé sur certains paramètres de croissance. Les études sur l'utilisation de ces matières en grande culture et leur mélange avec les engrais minéraux (NPK et Urée) sont nécessaires avant la diffusion de cette technologie en milieux paysans.

Remerciements

Cette étude a été réalisée avec l'assistance financière du Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) du Sénégal, dans le cadre du projet d'Appui à la Promotion des Enseignantes-chercheuses du Sénégal (PAPES).

Références

- Afes, 2008. *Référentiel pédologique. Définitions des horizons de référence*, 6-28.
- Ba M.F., Samba A.N.S. & Bassene E., 2014. Influence des bois rameaux fragmentés (BRF) de *Guiera senegalensis* J.F. Gmel et de *Piliostigma reticulatum* (Dc) Hochst sur la productivité du mil, *Pennisetum glaucum* (L.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 1039-1048.
- Bationo A., Kimetu J., Ikerra S., Kimani J., Mugendi D., Oendo M., Silver M., Swift M. J. & Sanginga N., 2004. *The African network for Soil Biology and fertility: New Challenges and opportunities*. Managing Nutrient Cycles to Sustain Soil fertility in Sub-Sahara Africa. Academy Science Publisher, Nairobi, 1-23 p.
- Brady N.C. & Weil R.R., 2007. *The nature and properties of soils*, 14th edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Culot M., 2005. *Filières de valorisation agricole des matières organiques. Faculté Universitaire des Sciences Agronomique*. Laboratoire d'Ecologie microbienne et d'Epuraton des Eaux (LEMEE). Document réalisé à la demande du Cabinet du Ministre Benoît Lutgen, 73 p.
- Diack M. & Loum M., 2014. Caractérisation par approche géostatistique de la variabilité des propriétés du sol de la ferme agropastorale de l'Université Gaston Berger (UGB) de Saint-Louis, dans le bas Delta du Fleuve Sénégal. *Revue de géographie du laboratoire Leidi*, 12, 1-15.
- Diack M., Diom F., Sow K. & Sène M., 2017. Soil Characterization and Classification of the Koutango Watershed in the Semi-Arid Southern Peanut Basin of Senegal. *International Journal of Plant & Soil Science*, 20(4), 1-13.
- Diallo M.D., 2005. *Effet de la qualité des litières de quelques espèces végétales sahéliennes sur la minéralisation de l'azote*. Thèse de Doctorat en biologie végétale, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 168 p.
- Diallo M.D., Chotte J.L., Guisse A. & Sall S.N., 2008. Influence de la litière foliaire de cinq espèces végétales tropicales sur la croissance du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) et du maïs (*Zea mays* L.). *Sécheresse*, 19 (3), 207-210.
- Diallo M.D., Guissé A., Sall S.N., Dick R.P., Assigbetsé K.B., Dieng A.L. & Chotte J.L., 2015. Influence of tropical leaf litters on N mineralization and community structure of ammonia-oxidizing bacteria. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 19, 145-155.
- Diallo M.D., Mahamat-Saleh M., Goalbaye T., Diop L., Wade T.I., Niang K., Diop A. & Guissé A., 2016. Chute et décomposition de la litière des cinq espèces ligneuses et leur influence sur la biomasse herbacée. *Journal Recherche Scientifique Université Lomé, Série A*, 18(3), 1-18.
- Diallo M.D., Guisse A., Sall S.N., Ndiaye S.A., Ba A.T. & Chotte J.L., 2010. Évaluation in vitro de l'influence de la litière de deux espèces végétales sahéliennes sur le taux de N minéral et la densité des communautés bactériennes nitrifiantes d'un sol ferrugineux tropical. *Annales Botanique de l'Afrique de l'Ouest*, 06, 105-119.
- Falisse A. & Lambert J., 1994. La fertilisation minérale et organique. In : T. A. El Hassani, E. Persoons (Eds.), *Agronomie moderne, bases physiologiques et agronomiques de la production végétale*, INRA, Paris, pp. 131-169.
- Feller C., Blanchart E., Bernoux M., Lal R. & Manlay R., 2012. Soil fertility concepts over the past two centuries : the importance attributed to soil organic matter in developed and developing countries. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58 (S1), 3-21.
- Hatfield J.L., Sauer T.J. & Cruse R.M., 2017. Soil: the forgotten piece of the water, food, energy. *Nexus Adv. Agron.*, 143, 1-46.
- Hillebrand W.F., Lunde G.E.F, Bright H.A. & Hoffman J.L., 1953. *Applied inorganic analysis*, 2nd ed. John Wiled and Sons, Inc., New York, USA. 1034 p.
- Jirka A.M. & Carter M.J., 1975. Micro semi-automated analysis of surface and wastewaters for chemical oxygen demand. *Anal. Chem.*, 47, 1397 p.
- Nyembo K.L., Useni S.Y., Mpundu M.M., Bugeme M.D., Kasongo L.E. & Baboy L.L., 2012. Effets des apports des doses varies 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*, 59, 4286-4296.
- Oldfield E.E., Wood S.A., Palm C.A. & Bradford M.A., 2015. How much SOM is needed for sustainable agriculture? *Front Ecol. Environ.*, 13, 527-527.
- Pittelkow C.M., Liang X. & Linquist Ba *et al.*, 2014. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517, 365-368.
- Robertson G.P., Gross K.L. & Hamilton S.K., 2014. Farming for ecosystem services: an ecological approach to production agriculture. *Bioscience*, 64, 404-415.
- Samba S.A.N., 2001. Effet de la litière de *Cordyla pinnata* sur les cultures : approche expérimentale en agroforesterie. *Ann. For. Sci.*, 58, 99-107.
- Smith S.J. & Sharpley A.N., 1990. Soil nitrogen mineralization in the presence of surface and incorporated crop residues. *Agron. J.*, 82, 112-116.
- Thuriès L., Arrufat A., Dubois M., Feller C., Herrmann P., Larré-Larrouy M.C., Martin C., Pansu M., Rémy J.C. & Viel M., 2000 - Influence d'une fertilisation organique et de la solarisation sur la productivité maraîchère et les propriétés d'un sol sableux sous abri. *Etude et gestion des sols*, 7(1), 73-88.
- Walkley A. & Black I.A., 1934. An examination method of the Detjareff and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- World Reference Base For Soil Resources (WRB), 2014. *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports, 191 p.