

Effets de biofertilisants et biodigestats des fientes de volaille et bouse de vache sur la croissance du maïs (*Zéa mays*) et du sorgho (*Sorghum sp*)

Halima MAIGUIZO-DIAGNE^{1,3*}, Christian Valentin NADIELINE^{1,3,4}, Mame Farma NDIAYE-CISSE^{1,4},
Ndeye Aida NDIAYE^{1,2}, Ibrahima NDOYE³ et Saliou FALL¹

¹ ISRA / Laboratoire National de Recherches pour les Productions Végétales (LNRPV), Laboratoire Commun de Microbiologie (ISRA-IRD-UCAD), Laboratoire Mixte International LAPSE, BP 3120 Route des hydrocarbures Dakar, Sénégal

² Département de Chimie et Biochimie, Université Cheikh Anta Diop (UCAD), Av. Cheikh Anta DIOP, BP 5005 Fann-Dakar, Sénégal

³ Département de Biologie Végétale, Université Cheikh Anta Diop (UCAD), LAPSE, Av. Cheikh Anta DIOP, BP 5005 Fann-Dakar, Sénégal

⁴ IRD, Laboratoire Mixte International IESOL, BP 1381 Route des hydrocarbures Dakar, Sénégal

* Correspondance, courriel : maiguizo@yahoo.com

Résumé

Au Sénégal, les céréales comme le sorgho (*Sorghum sp*) et le maïs (*Zéa mays*) sont cultivés sur des sols souvent pauvres en nutriments communément appelé « sol DIOR ». Le but de ces travaux est de comparer l'effet fertilisant des fientes de poules pondeuses (Fpp), de la bouse de vache (BV) et de leurs biodigestats respectifs sur la croissance de ces céréales. La caractérisation physico-chimique des substrats, montre que les Fpp sont les plus riches en composés organiques méthanisables avec 35,5 % de MV (matière volatile), de même que pour les autres éléments mesurés (Phosphore total, Calcium, Magnésium, Potassium et Sodium). Les analyses statistiques sur les paramètres de croissances du maïs et sorgho montraient que Fpp et les Fpp-BV induisaient des hauteurs significativement plus importantes que celles obtenues avec les autres fertilisations organiques ou minérales (NPK). La croissance, aussi bien pour le maïs que le sorgho, était identique pour les biodigestats seuls (D-Fpp) ou combinées (D-BV/D-Fpp), les BV, les engrais NPK et les digestats de BV (D-BV). Malgré que ces biodigestats fussent moins efficaces que leurs substrats respectifs, leur utilisation en tant que biofertilisant est à promouvoir, du fait qu'ils permettent aussi une valorisation énergétique (biogaz) des substrats.

Mots-clés : fertilisation, biodigestat, maïs, sorgho, fientes de volaille, bouse de vache, céréales sèches, Sangalkam.

Abstract

Effects of biofertilizers and biodigestats of poultry manure and cow dung on the growth of maize (*Zea mays*) and sorghum (*Sorghum sp*)

In Senegal, cereals such as sorghum (*Sorghum sp*) and maize (*Zea mays*) are often grown on poor soils commonly called "soil DIOR". The aim of this work was to compare the effect of fertilizing droppings of laying

hens (Fpp) to cow dung (BV) and their respective biodigestates on growing these crops. The physicochemical characterization of the substrates showed that Fpp were the richest in methanisables organic compounds with 35.5 % of MV (volatile matter), as well as other elements measured (Total Phosphorus, Calcium, Magnesium, Potassium and Sodium). Statistical analysis on the maize and sorghum growth parameters showed that Fpp and Fpp-BV induced significantly greater heights than those obtained with other organic or mineral fertilization (NPK). The growth, both for maize as sorghum, was identical to the only biodigestate (D-Fpp) or combined (D-BV / D-Fpp), BV, NPK fertilizers and biodigestate BV (D-BV). Although these biodigestates were less effective than their respective substrates, their use as biofertilizers would promote, because they also provide substrates for energy recovery (biogas).

Keywords : *fertilization, digestate, maize, sorghum, poultry manure, cow dung, dry cereals, Sangalkam.*

1. Introduction

En Afrique de l'ouest, les céréales comme le sorgho (*Sorghum sp.*) et le maïs (*Zéa mays*) occupent une place importante dans l'alimentation humaine et animale. De ce fait, elles jouent un rôle important dans la sécurité alimentaire [1]. Cependant, leur productivité demeure faible. Le rendement de l'ensemble des quatre principales céréales (maïs, sorgho, riz et mil) produites en Afrique reste très faible, ~ 1179 kg par hectare comparée aux 6 tonnes ou plus réalisés pour le blé, le maïs et le riz en Asie et en Europe [1]. L'utilisation d'engrais chimiques ou en combinaison avec des biofertilisants [2] pourrait être une approche simple pour rehausser la fertilisation des sols et le rendement de ces cultures céréalières. Toutefois, les faibles revenus des agriculteurs expliquent le peu de succès enregistrés avec les engrais chimiques. Dans ce contexte, l'utilisation de biodigestats issus de la digestion anaérobique (ou compostage méthanogène) de déchets organiques constitue une des alternatives pour contribuer efficacement à combler les besoins nutritionnels des cultures. En effet, le compostage méthanogène est un processus microbien complexe qui est le résultat de la décomposition d'une partie de la matière organique en biogaz et biodigestats [3]. Le biogaz produit contient typiquement entre 50 et 70 % de méthane [4] directement utilisable pour l'éclairage, la cuisson ou la production d'énergie électrique. Dans le biofertilisant, les nutriments comme l'azote (N₂) le phosphore (P) et le potassium (K) initialement complexifiés dans les substrats organiques [5] sont libérés et donc plus disponibles pour les plantes. Ainsi, la disponibilité de l'azote est améliorée, alors que la teneur et la disponibilité du P et du K restent constants [6]. Néanmoins, le rendement de ce processus de compostage méthanogène dépend de l'origine et de la nature du substrat utilisé [7, 8]. L'objectif de ce travail était de contribuer à l'amélioration de la croissance de céréales sèches, en utilisant des biofertilisants bruts ou issus du processus de compostage méthanogène. Plus spécifiquement, des déchets organiques constitués essentiellement d'excréments d'animaux (Fientes de poules pondeuses et bouses de vache) collectés à Sangalkam ont été testés en serre pour évaluer leur valeur agronomique sur le sorgho (*Sorghum sp.*) et le maïs (*Zéa mays*).

2. Matériel et méthodes

2-1. Site d'étude

La collecte des substrats (fientes de poules pondeuses et bouse de vache) a été menée dans la communauté rurale de Sangalkam (14° 46' 52" Nord, 17° 13' 40" Ouest) située à proximité de Dakar. L'élevage et le maraichage sont les principales activités [7]. La zone de Sangalkam bénéficie du climat littoral de la zone des

Niayes caractérisées par 3 à 4 mois de pluies [8] et un vent d'alizé boréal maritime entraînant une baisse des amplitudes thermiques et une légère augmentation de l'hygrométrie atmosphérique [9] favorable aux activités avicoles.

2-2. Caractéristiques physico-chimiques

La caractérisation physico-chimique des substrats a été faite au Laboratoire des Moyens Analytiques (LAMA) de l'IRD/Bel-Air certifié ISO 9001-2008. Les taux de carbone total et d'azote total ont été déterminés à l'aide d'un auto analyseur élémentaire et basé sur les méthodes empiriques de [10]. La caractérisation du phosphore total a été faite par dosage colorimétrique selon la méthode de [11]. Les matières sèches (MS) ont été mesurées par différence de poids avant et après une dessiccation de 10 g du substrat à 100-105 °C pendant 24 h. Le résidu calciné ou cendres, à 525 ± 25 °C pendant 3 heures (ou matières volatiles sèches, MVS) permet de distinguer les matières organiques des matières minérales [12]. Le sodium, le potassium, le calcium, le magnésium ont été déterminés par minéralisation oxydante (10 ml de HNO₃ à 65 % et 5 ml de H₂O₂ à 20 %) sur micro-ondes Ethos1-Milestone [13].

2-3. Biofertilisants et biodigestats

Les biofertilisants représentés par les fientes de poules pondeuses (Fpp) et la bouse de vache (BV) ont été récoltés à partir de tas de moins d'une semaine sortis respectivement de poulailler et de ferme. Pour chaque type de substrat, un échantillon composite a été constitué à partir de six prélèvements faits au hasard sur chaque tas. Dans le cas des fientes, le support d'élevage était constitué de sère de bois et représente ~15 % du poids sec des fientes. Pour chaque échantillon composite, l'humidité est déterminée dans les 12 h qui suivent le prélèvement. Une quantité de 8 à 10 g environ est placée dans une boîte de pétri dont le poids est noté au préalable. La boîte de Pétri en verre est placée à l'étuve à une température 105° C pendant 72 h pour séchage. Le reste de l'échantillon a été conservé à 4° C avant utilisation. Les biodigestats utilisés ont été le résultat de la méthanisation de 3 kg de chaque substrat dans un réacteur en batchs et selon la procédure décrite par Delgenès [14]. Après digestion anaérobie des substrats pendant 90 jours, les digestats sont récupérés et tamisés avec un tamis de maille 0,5 mm. Ces suspensions de biodigestats ont été conservées dans des bouteilles de 10 l et stabilisées en chambre froide à 4° C. Chaque biodigestat a été dilué avec de l'eau pour obtenir une concentration de 0,6 g/l de MS. La quantité nécessaire pour l'arrosage des essais ont été prélevées au moment opportun. Les effets des biodigestats et biofertilisants ont été comparés à celui d'engrais chimique NPK (15-10-30) qui apporté une fois pour un équivalent de 150 Kg/ha.

2-4. Expérimentation en serre

L'expérience a été faite en serre en utilisant le sol DIOR de Sangalkam [15] comme support de culture dans des gaines de 10 cm de diamètre. Le sol DIOR est un sol ferrugineux à pH d'environ 6.5 connu pour sa texture sableuse (~58 % de sable ; ~33 % de limon et 3.6 % d'argile et sa faible teneur en azote (0.06 %), en carbone (0.5 %) [16] et phosphore (39 ppm). Les fertilisations ont été apportées au 3^{ème} jour-après-semis (JAS 3). Les variétés suivantes ont été testées : la variété de maïs *Maka* originaire de la Mauritanie cultivé le long du fleuve Sénégal [17] et la variété sorgho rouge principalement cultivée dans la partie centrale et sud du Sénégal [18]. Les graines ont été pré-germées dans des bocal contenant du papier imbibé d'eau stérile et incubé à l'étuve à 37° C pendant 48 heures pour avoir des plants relativement homogènes. Chaque gaine a reçu une plantule pré-germée *in vitro*. Les traitements suivant ont été appliqués : biofertilisants (fiente de poule pondeuse (Fpp) versus bouse de vache (BV)) et biodigestats (D_FPP versus D_BV) et leur mélange

respectif (BV/Fpp versus D_BV/D_Fpp) sur la culture des céréales ont été comparés à l'apport d'engrais NPK et le sol sans apport d'engrais ou de biofertilisant (T0). Pour chaque modalité, six répétitions ont été faites en utilisant un dispositif randomisé (**Figure 1**). Les plantules recevaient 50 ml d'eau déminéralisée ou de biodigestats avec une fréquence d'arrosage de 48 h.

2-5. Les paramètres agronomiques suivis

Les paramètres agronomiques suivis étaient : la hauteur (à partir de JAS 10), le diamètre au collet (à JAS 75), les poids secs moyens (PSM) des parties aériennes et racinaires mesurés après récolte et séchage à l'étuve (85°C pendant 72 heures).

2-6. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant Xlstat logiciel Version 2010. Pour chaque spéculation, les résultats ont été analysés séparément par analyse de la variance à un facteur (ANOVA). Le seuil de significativité a été déterminé selon le test Fischer au seuil de 5 %. La Corrélation a été effectuée afin de déterminer les relations entre les données mesurées.

3. Résultats

3-1. Caractéristiques physico-chimiques des substrats

Les résultats (**Tableau 1**) montraient que le substrat Fpp était le plus riche en composés organiques méthanisables avec 35,5 % de MV (matière volatile) alors que ce taux dans la bouse de vache était de 23,75 %.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des biodigestats de fientes de poules pondeuses (Fpp) et de bouse de vache (BV) utilisés

	MV	C	N	C/N	P total	Ca	Mg	K	Na
	%	%	%		g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
FPP	35,5	27,21	2,60	10,5	15,67	23,90	6,12	19,49	3,19
BV	23,75	36,63	1,37	26,7	5,11	10,66	3,75	8,83	2,83

MV : matière volatile ; N : azote ; C : carbone ; P : phosphore ; Ca : calcium ; Mg : magnésium ; K : potassium ; Na : sodium ;

La teneur en Carbone (C) était de 27,21 % dans les fientes et de 36,63 % dans la bouse de vache, tandis que la teneur en azote (N) était plus faible dans la bouse de vache (1,37 %). Par conséquent, le C/N était proche de 10 pour les fientes et supérieur à 25 pour la bouse. Pour les autres éléments mesurés (Phosphore total, Calcium, Magnésium, Potassium et Sodium), les fientes montraient partout les taux les plus élevés en particulier le Potassium (K) qui était de 19,5 %.

3-2. Effets fertilisants des biofertilisants et biodigestats sur la croissance des céréales

3-2-1. Effets sur le maïs (*Zéa mays*)

3-2-1-1. Effets sur la hauteur et le diamètre au collet

A JAS 75, la hauteur des plantes (**Tableau 2**) de maïs variait entre 50,82 cm pour le témoin T0 et 74.52 cm pour les plants avec apports de Fpp. Les analyses statistiques montraient que les hauteurs des plantes obtenues avec Fpp et les Fpp-BV étaient significativement plus élevées que celles obtenues avec les autres fertilisations organiques ou minérales (NPK). La croissance du maïs était identique pour les biodigestats seuls (D-Fpp) ou combinés (D-BV/D-Fpp), la bouse de vache, les engrais NPK et les biodigestats de bouse de vache. Cette dernière était intermédiaire et n'était pas significativement différente du témoin.

Tableau 2 : Paramètres de croissances mesurés sur les plants de maïs (*Zéa mays*) et sorgho (*Sorghum sp*)

Modalité	Maïs		Sorgho	
	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)
Fpp	74,52 a	0,56 a	80,94 e	0,74 d
BV/Fpp	71,22 a	0,54 a	76,54 e	0,64 d
D_BV/D_Fpp	58,26 b	0,4 b	67,6 d	0,48 c
D_Fpp	57,44 bc	0,38 bc	68,16 d	0,52 c
BV	56,20 bc	0,34 bcd	50,04 a	0,3 a
NPK	55,76 bc	0,34 bcd	63,5 cd	0,44 bc
D_BV	54,06 cd	0,32 cd	59,42 bc	0,42 bc
T0	50,82 d	0,28 d	55,68 ab	0,34 ab

Les mêmes tendances étaient observées pour les diamètres au collet (**Tableau 2**), avec une différence significativement plus importante pour les Fpp et BV/FPP comparée aux autres fertilisants. Il n'y avait pas de différence significative entre BV, NPK, D_BV et T0.

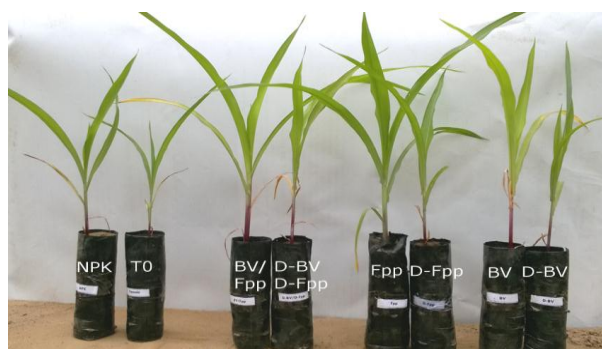


Figure 1 : Vue d'ensemble des plants de maïs selon les différents traitements appliqués

3-2-1-2. Effets sur les poids secs moyens

Les poids secs moyens (PSM) des parties aériennes et racinaires des plantes de maïs sont reportés à la **Figure 2**. Les PSM des parties aériennes et racinaires de plantes fertilisées avec les Fpp ou Fpp/BV étaient significativement plus importants que ceux des autres traitements. Le PSM des parties aériennes du T0 était significativement moins important que ceux des autres traitements excepté BV. D_Fpp et D_BV/Fpp entraînaient une croissance intermédiaire entre celle de Fpp et BV/Fpp et celle du T0. Pour les parties racinaires, il n'y avait pas de différence significative entre D_BV, BV, NPK, D_BV/D_Fpp et T0.

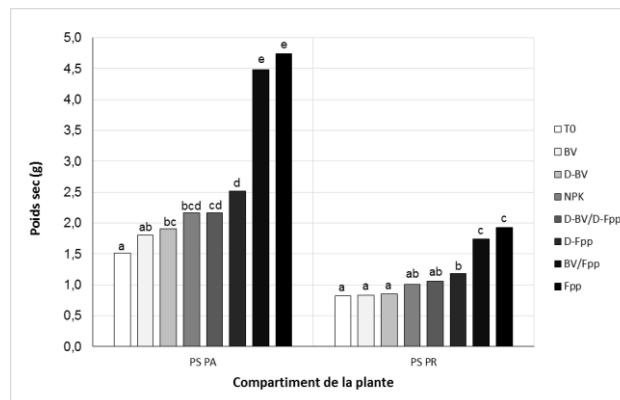


Figure 2 : Poids secs moyens des parties aériennes et racinaires des plants de maïs (*Zéa mays*) à JAS 75

Les résultats de corrélation (**Figure 3**) entre les parties aériennes ou racinaires montraient une bonne relation ($R^2 \sim 1$) dans leur croissance, ce qui signifie que les biofertilisants et biodigestats favorisaient le développement à la fois des parties aériennes et racinaires.

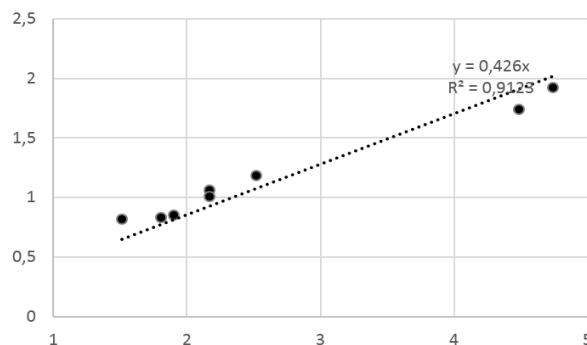


Figure 3 : Courbe de corrélation poids secs moyens racinaire / aérienne chez le maïs (*Zéa mays*)

3-2-2. Effets sur le sorgho

3-2-2-1. Effets sur la hauteur et le diamètre du collet

La hauteur et le diamètre du collet des plants de sorgho (*Sorghum sp*) à JAS 75 variaient respectivement entre 50 et 81 cm ; et 0,74 et 0,30 cm (**Tableau 2**). Comme pour le maïs, les croissances les plus importantes étaient enregistrées avec les plantes fertilisées avec les Fpp ou BV/Fpp. Les valeurs de croissance les plus faibles étaient enregistrées avec la bouse de vache seule qui était significativement plus basse que tous les autres traitements à l'exception du témoin absolu (T0). Les biodigestats de fientes seuls (D_Fpp) ou mélangés et le NPK avaient des croissances intermédiaires. L'analyse du diamètre de collet (**Tableau 2**), montrait les

mêmes tendances que les hauteurs des plants de sorgho. Ainsi, les diamètres des plants fertilisés avec les Fpp ou BV/Fpp donnaient des diamètres significativement plus élevés que ceux des autres traitements. Les valeurs les plus basses étaient enregistrées, comme dans le cas des hauteurs, avec la bouse de vache.

3-2-2-2. Effets sur les poids secs moyens

Les PSM obtenus avec le sorgho (*Sorghum sp*) sont représentés par la **Figure 4** qui montrait presque les mêmes différences significatives entre les traitements aussi bien pour la hauteur que pour le diamètre au collet. Ainsi, Fpp donnaient les valeurs significativement plus importantes que les autres traitements pour les parties aériennes et identique à BV/Fpp pour les parties racinaires. Les biodigestats de Fpp et les mélanges des biodigestats donnaient des croissances identiques, mais significativement plus élevées que celles du témoin et de la bouse de vache. Les PSM des traitements NPK et biodigestats de bouse de vache (D_BV) n'étaient pas significativement différents à celui du T0 et des BV.

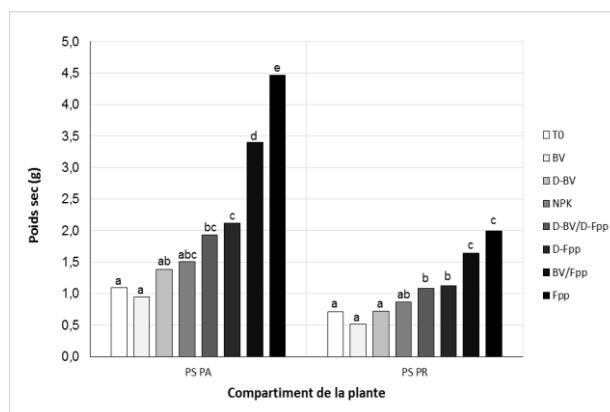


Figure 4 : Poids secs moyens des parties aériennes et racinaires des plants du sorgho (*Sorghum sp*) à JAS 75

4. Discussion

Dans le but de trouver des alternatives durables pour fertiliser et améliorer la croissance des céréales cultivées en Afrique de l'Ouest, deux types d'excréments d'animaux (fientes de poules pondeuses et bouse de vache) ont été testés. D'autres études récentes ont montré l'intérêt de l'utilisation des fientes d'animaux seules ou en association avec des résidus de culture, pour la production de biogaz. C'est le cas de l'utilisation des déjections de chèvres associées aux résidus de culture comme le blé, le maïs ou riz [19, 20]. Ces deux substrats ont la particularité d'être souvent considérés comme des substrats hautement producteurs de méthane. Leur caractérisation physico-chimique confirmait cette particularité, du fait que la matière volatile (MV) était supérieure à 20 % [21]. Toutefois, la MV des fientes des poules pondeuses (Fpp) était supérieur à celle de la bouse de vache suggérant que les Fpp étaient plus méthanisables que les BV. Aussi, à l'exception du Carbone (et rapport C/N) la caractérisation physico-chimique montre que les Fpp sont plus riches en azote, phosphore, calcium, etc. Ces résultats confirment le pouvoir fertilisant du type de fientes testés et sont en accord avec les résultats obtenus par [22]. Des biodigestats de ces substrats ont été obtenus à la suite de leur digestion anaérobie et testés concomitamment avec les substrats bruts et l'engrais chimique NPK. Les résultats montrent que les fientes de poules pondeuses (Fpp) et les Fpp mélangées avec la bouse de vache

(BV/Fpp) induisaient des hauteurs, des poids aériens et racinaires significativement plus importants chez le maïs et le sorgho, que les autres fertilisations testées, organiques ou minérales (NPK). Vall et Bayala avaient trouvé des résultats similaires sur la croissance du maïs et sur celle du mil [23]. Un effet positif de la fertilisation par les fientes de volaille sur la croissance de céréales et de tubercules a aussi été observé [26, 27]. Comparer à l'engrais minéral (NPK), les fientes de poules pondeuses avaient augmenté significativement le développement du maïs et du sorgho par le fait que la minéralisation des bioengrais comme les excréments de volaille s'étale dans le temps avec une minéralisation rapide des acides uriques qui a lieu durant les premiers jours voir premières semaines de son application [24].

En effet, il est estimé que plus de 69 % de l'azote dans les fientes de volailles peuvent être minéralier dans les quatre mois et demi qui suivent leur application sur le sol [25]. Dans cadre plus global, l'incorporation à court terme de la matière organique et biofertilisant favoriseraient les activités microbiennes et enzymatiques [26]. Aussi dans le cadre de cette étude, les paramètres agronomiques mesurés sur les plantes fertilisées avec les digestats de Fpp (D_Fpp) étaient inférieurs à ceux des fientes bruts (Fpp), alors qu'il est connu que la méthanisation favorise l'accumulation des formes azotées [27] après production de gaz composés de carbone et hydrogènes (CH_4 ; CO_2). Ces différences peuvent s'expliquer par un temps de séjour relativement long des fientes [28] dans les poulaillers. Comparé aux fientes, la bouse de vache (BV) et son biodigestat (D_BV) avaient un pouvoir fertilisant significativement plus bas. Ces différences seraient probablement dues aux différences de teneurs en éléments comme N, P Ca et Mg révélés par les caractéristiques physico-chimiques.

L'évaluation de production de biogaz a montré que les fientes de poules pondeuses (Fpp) produisaient une quantité de biogaz et qualité en méthane (CH_4) plus importantes [29]. Les différences entre types d'élevage expliqueraient alors les différences observées aussi bien pour la production de biogaz que les valeurs agronomiques. Les poules pondeuses séjournent généralement plus longtemps que les autres types d'élevage ; de ce fait, les excréments subissent une phase de pré-compostage plus longue dans des conditions d'humidité et de température convenables [30]. D'autre part, il existe différentes formes de fientes (poulet de chair, poussin, poule pondeuse, etc.) et une étude préliminaire [31] a montré que la composition des fientes était très variable en fonction du type de support utilisé (balle de riz, sciures de bois, litière de filao, etc.), des types d'aliment et du type d'élevage.

5. Conclusion

Les tests sous conditions contrôlées (serre) du pouvoir fertilisant des excréments d'animaux et de leurs biodigestats (ou mélange de biodigestats) ont montré que les fientes favorisaient la croissance aussi bien du maïs (*Zea mays*) que du sorgho (*Sorghum sp.*). La fertilisation avec son biodigestat donnait une croissance significativement plus basse, néanmoins il y a plusieurs avantages de passer par la phase de production de biogaz avant l'utilisation des fientes comme bioengrais dont la production d'énergie par le biogaz, qui peut être utilisée pour l'irrigation ou le chauffage dans les exploitations familiales en milieu rural. Ainsi dans un contexte de sécurité alimentaire et de réchauffement climatique, le développement de biogaz et de l'utilisation des biodigestats peut être une alternative durable pour à la fois produire de l'énergie et de bioengrais pour la restauration des terres dégradées et le maintien de la production des cultures vivrières.

Remerciements

Nos vifs remerciements au Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche du Sénégal qui, à travers le Fonds d'Impulsion pour la Recherche Scientifique et Technique (FIRST) a supporté ses travaux. Nos remerciements vont également à l'encontre du Centre d'études Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la sécheresse (CERAAS - ISRA) pour sa contribution financière à travers le programme WAAPP2.

Références

- [1] - B. G. SOULE et S. GANSARI, «La dynamique des échanges régionaux des céréales en Afrique de l'Ouest,» *Michigan State University*, (2010).
- [2] - S. KUMAR, K. BAUDDH, S. C. BARMAN et R. P. SINGH, «Amendments of microbial biofertilizers and organic substances reduces requirement of urea and DAP with enhanced nutrient availability and productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.),» vol. 71, n° 10925-8574 (432-437), (2014).
- [3] - R. Moletta, Etude bibliographique sur la méthanisation de déchets organiques, Villeurbanne: Association RECORD, (2002).
- [4] - R. MOLETTA, La méthanisation (1^e édition), Paris: LAVOISIER, (2008).
- [5] - N. F. G. GUEYE, S. S. WONE et M. SY, Agriculteurs dans les villes ouest-africaines, Paris et Dakar: KARTHALA Editions, IAGU, CREPOS, (2009).
- [6] - RECORD, «Aide à la définition des déchets dits biodégradables, fermentescibles, méthanisables,» no00-0118/1A, (2002) 153 p.
- [7] - J. LAMPTEY et al., «Bioenergy,» *IDRC/UNU*, (1990) 210 p.
- [8] - S. BOROWSKI et L. WEATHERLEY, «Co-digestion of solid poultry manure with municipal sewage sludge,» *Bioresource Technology*, 142 (2013) 345 - 352 p.
- [9] - J. DEMORTREUX, P. FULCHERI, I. SOW et S. SARR, «Etude diagnostic du village de noflaye (NDIAKHIRATE NDILOBENE),» *Urgence Afrique*, Dakar, (2011).
- [10] - C. CHARREAU et R. FAUCK, «Les Sols du Sénégal,» chez *Etude Sénégalaise*, vol. II, Bambey-SENEGAL, ORSTOM, (1946).
- [11] - SAED-Centre de Ndiaye, «Les sols du Delta du fleuve Sénégal : propriétés physiques et chimiques,» 1993. [En ligne]. Available: http://cda.portail-omvs.org/sites/cda.portail-omvs.org/files/sites/default/files/fichiers_joint/9369_ocr.pdf. [Accès le Novembre 2015].
- [12] - J. M. BREMNER et D. R. KEENEY, «Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite,» *Analytica Chimica Acta*, Volume 32, (1965) 485-495 p.
- [13] - J. MURPHY et J. P. RILEY, «A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters,» *Analytica Chimica Acta Volume 27*, (1962) 31 - 36 p.
- [14] - M. TORRIJOS, A. THALLA, P. SOUSBIE, F. BOSQUE, J. DELGENES, al. et al., «Anaerobic digestion of residues from production and refining of vegetable oils as an alternative to conventional solutions,» *Water Science & Technology*, 58 (9) (2008) 1871 - 1878.
- [15] - B. MANSOURI, S. HAZOURLI, I. Le HECHO et S. TELLIER, «Etude des caractéristiques physico-chimiques et contribution à la valorisation agronomique du compost des ordures ménagères,» vol. 51, n°13 (2008).
- [16] - J. P. DELGENÈS, M. TORRIJOS, R. MOLETTA et P. WILDERER, «Sequencing batch reactor technology II,» *Water science and technology*, 43 (3)(July 2000) 10 - 12 p.
- [17] - H. HARO, K. B. SANON, I. DIOP, A. KANE, M. DIANDA, P. HOUNGNANDAN, M. NEYRA et A. TRAORE, «Réponse à l'inoculation mycorhizienne de quatre variétés de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cultivées au Burkina Faso et au Sénégal,» vol. 6, n°15 (2012).

- [18] - C. FELLER, «Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols,» *Cahier ORSTOM, série Pédologique*, vol. XVII, n° 14 (1979) 339 - 346.
- [19] - M. CHASTANET, «Plantes et paysages d'Afrique.,» chez *Une histoire à explorer*, Vols, 1 sur %2251-282, Paris, Karthala-CRA, (1998).
- [20] - MINISTERE DE L'AGRICULTURE, «La culture et la production du mil et du sorgho au Sénégal : Bilan-Diagnostic et Perspectives,» Novembre 2001. [En ligne]. Available: <http://hubrural.org/IMG/pdf/mil-sorgho-senegal.pdf>. [Accès le Decembre 2015].
- [21] - T. ZHANG, L. LIU, Z. SONG, G. REN et Y. FENG, «Biogas Production by Co-Digestion of Goat Manure with Three Crop Residues.,» vol. 8, n° 16 (2013).
- [22] - T. CESTONARO, M. S. S.-M. COSTA, L. A.-M. COSTA, M. A. T. ROZATTI, D. C. PEREIRA, H. E. F. LORIN et L. J. CARNEIRO, «The anaerobic co-digestion of sheep bedding and $\geq 50\%$ cattle manure increases biogas production and improves biofertiliser quality,» vol. 46, n° 1612-618, (2015).
- [23] - ESETA, «La Méthanisation,» 2011. [En ligne]. Available : <http://www.eseta.fr/index.php/fr/services/methanisation/77-societe/77>, [Accès le 2016].
- [24] - E. TEDONKENG PAMO, B. BOUKILA, B. L. TONFACK, M. C. S. MOMO, J. R. KANA et F. TENDONKENG, «Influence de la fumure organique, du NPK et du mélange des deux fertilisants sur la croissance de *Moringa oleifera* Lam. dans l'Ouest Cameroun,» vol. 17, n° 13 (2005).
- [25] - E. VALL et I. BAYALA, «Production améliorée et application raisonnée de la fumure organique,» CIRAD, Burkina Faso, (2007).
- [26] - D. VASANTHI et K. KUMARASWAMY, «Effects of manure-fertilizer schedules on the yield and uptake of nutrients by cereal fodder crops and on soil fertility.,» *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 48 No. 3, (2000) 510 - 515 p.
- [27] - A. A. IVANOV, L. E. MATROSOVA et M. Y. TRELASOV, FAO-Agriculture, 2013. [En ligne]. Available: <http://agris.fao.org/agris-search.do?recordID=Ru2014000101>, [Accès le Novembre 2015].
- [28] - D. R. EDWARDS et T. C. DANIEL, «Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal-A review,» vol. 41, n° 11 (1992) 9 - 33 p.
- [29] - C. C. BITZER et J. T. SIMS, «Estimating the availability of nitrogen in poultry manure through laboratory and field studies.,» *J. Environ. Qual.*, 17 (1988) 47 - 54 p.
- [30] - R. DINESH, V. SRINIVASAN, S. HAMZA et A. MANJUSHA, «Short-term incorporation of organic manures and biofertilizers influences biochemical and microbial characteristics of soils under an annual crop [Turmeric (*Curcuma longa* L.)],» vol. 101, n° 112 (2010) 4697 - 4702.
- [31] - F. ABOULENIEN, W. FUJIWARA, Y. NAMBA, M. KOSSEVA et al., «Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia removal by biogas recycle,» vol. 101, n° 116 (2010) 6368 - 6373 p.
- [32] - S. SEYDOUX, D. COTE, M. GRENIER et M. O. GASSER, «Caractérisation des volumes et des concentrations en éléments fertilisants des effluents d'élevage de poulettes et de poules pondeuses,» IRDA-Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement, Québec, (2006).
- [33] - H. A. MAIGUIZO DIAGNE, Contribution à la caractérisation de déchets organiques pour la production de biogaz et biofertilisants dans des zones périurbaines et urbaines de Dakar-Sénégal, Dakar: UCAD - ED-SEV, (2016).
- [34] - Y. M'SADAK et A. BEN M'BAREK, «Caractérisation qualitative du digestat solide de la biométhanisation industrielle des fientes avicoles et alternative de son exploitation agronomique hors sol,» *Revue des Energies Renouvelables*, 16(1)(2013) 33 - 42 p.
- [35] - O. CISSE et al., «Evaluation du pouvoir méthanisant des déchets organiques collectés dans la zone périurbaine de Dakar : cas des fientes de poulets,» (2014) 53 p.