

Université Assane Seck de Ziguinchor



UFR Sciences et Technologies

Département d'Agroforesterie

Mémoire de Master

Spécialité : Aménagement et Gestion des écosystèmes forestiers et agroforestiers

Sujet :

Effets de deux types de compost et de la fertilisation minérale azotée sur les propriétés du sol et le rendement du riz (*Oriza sativa* L.) de Nappe en station au CRA de Djibélor

Présenté par

Mamadou SOW

Sous la Direction de **Pr Daouda NGOM**, Maitre de Conférences, UCAD-Dakar.

Co-encadré par **Dr Abdoulaye Badiane**, Chargé de Recherches, ISRA-CRA de Djibélor.

Soutenu publiquement le 14 décembre 2018 devant le jury composé de :

Président :	Pr Adoul Aziz NIANG	Maitre de Conférences	UFR-SES/UASZ
Rapporteur :	Pr Daouda NGOM	Maitre de Conférences	FST/UCAD
	Dr Abdoulaye BADIANE	Chargé de Recherches	ISRA/CRA-Djibélor
Examineurs :	Dr Ousmane N'DIAYE	Maitre-Assistant	UFR-ST/UASZ
	Dr Djibril SARR	Maitre-Assistant	UFR-ST/UASZ

Année universitaire: 2017 – 2018

Dédicaces

A mes très chers parents : Feu Yankhoba SOW et Rokhyatou DJIBA.

A la famille SOW.

Merci pour les efforts et sacrifices consentis pour notre éducation!

Remerciements

Ce travail a été effectué à la station de l'ISRA-CRA de Djibélor. J'aimerais adresser mes sincères remerciements à M. Saliou DJIBA, Directeur du centre, pour nous avoir donné l'autorisation de réaliser le stage au sein de la structure qu'il dirige. Nous associons à nos remerciements tout le personnel du CRA de Djibélor.

Je tiens à remercier tout particulièrement Dr Abdoulaye Badiane, Chercheur au CRA de Djibélor pour avoir pris en charge toutes les dépenses, notamment les analyses de sols et de composts en laboratoire, que l'expérimentation a nécessitées. Nous vous témoignons également toute notre reconnaissance pour avoir accepté de Co-encadré ce mémoire. La rigueur scientifique avec laquelle vous avez encadré ce travail a été d'une grande aide durant toutes les étapes du stage.

Je voudrais aussi exprimer toute ma gratitude à mon Directeur de mémoire Pr Daouda Ngom. Merci beaucoup pour avoir dirigé ce travail avec toutes les attentions requises.

Nous sommes profondément touchés par l'honneur que le Professeur Abdoul Aziz NIANG nous fait en acceptant d'examiner ce travail et d'en être le président du jury.

Nos reconnaissances vont également aux Dr Ousmane N'DIAYE et Dr Djibril SARR qui malgré leurs charges, ont accepté d'examiner ce travail.

Au corps professoral du Département d'Agroforesterie - UASZ, je vous remercie pour la qualité de la formation que vous nous avez dispensée.

A Dr Boubacar CAMARA pour avoir apporté à ce manuscrit des corrections et suggestions utiles, nous lui adressons un grand merci.

Mes remerciements vont également aux camarades de la 6^{ème} promotion du Département d'Agroforesterie pour leur amitié et pour les moments passés ensemble.

A toutes les personnes qui nous ont apportées aides, soutiens et encouragements, je vous remercie vivement.

Sigles et abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales

ADRAO : Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest

Anova : analyse de variance

ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

C : carbone

CEC : Capacité d'Echange Cationique

cm : centimètre

C_{org} : carbone organique

CO₂ : dioxyde de carbone

CPCS : Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols.

CRA : Centre de Recherches Agricoles

°C : degré Celsius

FMA : Fertilisation Minérale Azotée

ha : hectare

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

JAS : Jour Après Semis

K : potassium

kg : kilogramme

l : litre

Mg : magnésium

mg : milligramme

MO : Matière Organique

MS : Matière Sèche

m : mètre

N : azote

P : phosphore

pH : potentiel d'Hydrogène

PNAR : Programme National d'Autosuffisance en Riz

t : tonne

UASZ : Université Assane Seck de Ziguinchor

Table des matières

Dédicaces	i
Remerciements	ii
Sigles et abréviations.....	iii
Table des matières	iv
Table des illustrations.....	vi
Résumé	vii
Abstract	vii
Introduction	1
Chapitre 1 : Etat des connaissances.....	3
1.1. La fertilisation du riz	3
1.1.1. Les amendements organiques	3
1.1.2. La fertilisation minérale	3
1.1.3. La fertilisation organo-minérale.....	4
1.2. Le compost	4
1.2.1. Définition	4
1.2.2. Importance du compostage	5
1.2.3. Evaluation qualitative d'un compost.....	6
1.2.4. Effets du compost sur les caractéristiques du sol et sur les cultures.....	7
Chapitre 2 : Matériel et méthodes	8
2.1. Présentation de la zone d'étude	8
2.2. Le matériel végétal.....	9
2.3. Les fertilisants et les composts.....	9
2.4. Dispositif expérimental.....	10
2.5. Mise en place et conduite de l'essai.....	11
2.5.1. Préparation du sol.....	11
2.5.2. Semis.....	12
2.5.3. Entretien de la culture	12
2.6. Collecte de données	12
2.6.1. Prélèvement et caractérisation des échantillons de sol	13
2.6.2. Paramètres déterminés sur le riz	14
- La hauteur des plants:	14
- Le rendement en grains et ses composantes.....	15

2.7. Analyses et traitements des données	15
Chapitre 3: Résultats et Discussion	16
3.1. Résultats.....	16
3.1.1. Caractérisation chimique des composts	16
3.1.2. Caractéristiques initiales du sol.....	16
3.1.3. Effet des traitements sur les caractéristiques du sol.....	17
3.1.4. Effet des traitements sur les paramètres agro-morphologiques du riz	19
3.1.5. Analyse en composantes principales (ACP)	23
3.2. Discussion	25
3.2.1. Caractérisation chimique des composts	25
3.2.2. Effets des traitements sur les caractéristiques du sol	25
3.2.3. Effet des traitements sur les paramètres agro-morphologiques du riz	26
Conclusion et perspectives	28
Références bibliographiques	29

Table des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : localisation du site d'expérimentation	8
Figure 2 : compost F1 (a) et F2 (b) après criblage à l'aide d'un tamis à 20 cm de maille.....	9
Figure 3 : dispositif expérimental.....	11
Figure 4 : délimitation (a) et semis des grains de riz (b).....	12
Figure 5 : analyse en composantes principales et relations traitements-paramètres agromorphologiques.....	24

Liste des tableaux

Tableau 1 : composition de chaque formule de compost.	10
Tableau 2 : les différents traitements et leurs abréviations	11
Tableau 3 : Caractéristiques chimiques des composts.	16
Tableau 4 : caractéristiques initiales du sol.....	17
Tableau 5 : caractéristiques chimiques du sol final suivant les traitements.....	18
Tableau 6 : croissance en hauteur suivant les traitements.....	20
Tableau 7 : variation du rendement en grains et ses composantes suivant les traitements.....	21
Tableau 8 : corrélation entre les paramètres agro-morphologiques du riz.	23

Résumé

Dans le cadre de l'amélioration de la productivité du riz, une étude a été réalisée en 2017 à la station du CRA de Djibélor. L'étude a porté sur la caractérisation de deux formules de compost dont l'une est à base de résidus organiques uniquement (F1) et l'autre constituée de résidus organiques + additifs minéraux (F2). Elle a aussi cherché à évaluer l'effet de ces composts sur les caractéristiques du sol et sur les paramètres de rendement du riz. L'essai a été conduit suivant un dispositif en split-plot. La fertilisation minérale (150 kg/ha d'urée à 46% d'azote) comprenant deux modalités : avec ou sans fertilisation est le facteur principal. Le compost (5 t/ha) a constitué le facteur secondaire avec trois niveaux : F0 (contrôle) F1 et F2. Les valeurs de C/N : 9.7 (F1) et 11.3 (F2) indiquent que les composts sont matures. Les deux composts sont significativement différents selon le test de Wilcoxon ($p= 0,038$). Les résultats montrent également que les teneurs en MO et en éléments fertilisants (N, P, K...) de F2 sont relativement plus élevées que celles de F1. Les traitements n'ont pas significativement modifié les caractéristiques du sol ($p> 0.05$). Le rendement en grains le plus élevé (6074.36 kg/ha) est obtenu avec le traitement fertilisation minérale azotée seule (N). Le compost seul a amélioré le rendement en grains de 20 (F1) et 24 % (F2) par rapport au contrôle (F0). La combinaison fertilisation minérale + compost (F1+N et F2+N) a favorisé un bon développement végétatif des plants de riz.

Mots clés : compost, additifs minéraux, fertilisation minérale, sol gris, riz.

Abstract

In the context of rice yield improvement, a study was conducted at ISRA station (CRA de Djibélor) during the rainy season of 2017. The study focused on the characterization of two composts, one based on organic residues only (F1) and the other consisting of organic residues + mineral additives (F2). It also aims to evaluate the effect of the composts on a sandy grey soil characteristics and rice yield parameters. A split-plot design was used for the experiment. Mineral fertilization (with or without) was the main factor. Compost (5 t/ha) was the sub-plot with three levels: F0 (control) F1 and F2. C/N values: 9.7 (F1) and 11.3 (F2) show that composts are mature. Considering MO and nutrients contents (N, P, K...), F2 is relatively richer than F1. Treatments did not significantly affect soil characteristics ($p> 0.05$). The highest grain yield (6074.36 kg / ha) was recorded in N treatment. The compost alone enhanced grain yield by 20 (F1) and 24 % (F2) compared to control. Mineral fertilization combined with compost (F1 + N and F2 + N) improved vegetative growth of rice plants.

Key words : compost, mineral additives, mineral fertilization, gleyic arenosol, rice.

Introduction

Au Sénégal, le riz fait partie des céréales les plus consommées. La consommation par habitant, estimée à 87,6 kg/an (Niang et *al.*, 2017), place le pays parmi les plus gros consommateurs d'Afrique de l'Ouest. La production nationale estimée à 1.132.795 tonnes (Anonyme, 2018) ne couvre que 58 % de la demande (Osinski et Sylla, 2018). Cette situation oblige l'Etat à consacrer plus de 194 milliards de FCFA de dépenses aux importations pour satisfaire les besoins alimentaires de la population (AFC, 2015; ANSD, 2015).

La Casamance (57 % de la superficie emblavée et 36 % de la production totale) est l'une des principales zones de production du riz pluvial (ANSD, 2017). Le développement de la riziculture dans cette région est l'une des mesures phares par laquelle les autorités étatiques et les ONG comptent s'appuyer pour améliorer la production nationale. Dans cette région la riziculture est encore traditionnelle et manuelle. Elle s'effectue uniquement pendant la saison des pluies, sur de petites surfaces, sans utilisation d'engrais et de matériel végétal amélioré. Ceci explique en partie les faibles rendements (moins 2 t/ha en moyenne) qui y sont observés (PNAR, 2009; ISRA, 2012a).

La faible disponibilité des nutriments pour la culture est considérée comme la principale contrainte en riziculture (Wopereis et *al.*, 2008; PNAR, 2009; ISRA, 2012a). La pauvreté des sols affecte la productivité des terres rizicoles sur toute la toposéquence. Les conséquences peuvent être très néfastes dans la zone de nappe, qui est un milieu caractérisé par des sols très sableux (80 % de sable), pauvre en MO (moins de 2 %) et avec une CEC réduite (0,5-2,0 meq/100 mg) (Accolatse, 1974; Bertrand, et *al.*, 1978; Siband, 1989; ADRAO, 2008). Ces conditions font que le milieu est souvent réservé à la mise en pépinière du riz. A côté des problèmes créés par la faible fertilité des sols, il faut signaler les difficultés liées à l'accès aux engrais minéraux dues à leur coût élevé ou à l'enclavement de certains endroits de la région (Diop et Mané, 1998). De plus, l'utilisation continue des engrais chimiques entraîne une dégradation plus marquée des propriétés du sol (Chivenge et *al.*, 2009).

En réponse aux défis d'augmentation du rendement du riz et de maintien de la fertilité des sols, l'apport d'amendements organiques sous forme de compost peut être envisagé. Le compost, produit issu de la décomposition aérobie des matières organiques d'origine végétale et/ou animale, permet d'avoir un substrat organique assez élaboré pouvant libérer les éléments nutritifs nécessaires au bon développement des cultures. Il possède des propriétés amendante et fertilisante (Civeira 2010; Babalola et *al.*, 2012; Adugna 2016). Les résidus

organiques et les autres matières végétales, largement disponibles dans la région, encouragent vivement l'adoption de cette pratique.

Des études ont montré l'intérêt d'ajouter dans la préparation du compost des additifs minéraux (Joliet, 1994; Lompo et *al.*, 2009; Gabhane et *al.*, 2012). Selon ces auteurs, l'ajout d'additifs minéraux agit sur les propriétés du compost.

L'objectif général de cette étude est de contribuer au renforcement des réserves de C du sol par des pratiques d'amendements organiques. Elle cherche plus spécifiquement à caractériser deux composts; l'un à base de résidus organiques uniquement (F1) et l'autre composé de résidus organiques et d'additifs minéraux (F2). Elle vise aussi à évaluer l'effet de ces composts sur quelques caractéristiques d'un sol gris de nappe et sur les paramètres agromorphologiques du riz.

Ce mémoire est constitué de trois (3) chapitres. Le premier porte sur l'état des connaissances relatives à la fertilisation du riz et du compost. Le deuxième chapitre est consacré au matériel et aux méthodes utilisés. Le troisième chapitre présente les résultats et la discussion.

Chapitre 1 : Etat des connaissances

1.1. La fertilisation du riz

Le riz est une culture très exigeante en éléments nutritifs. Au cours de sa croissance, cette plante extrait d'importantes quantités de nutriments du sol. La quantité extraite varie en fonction de la variété, de la période de maturité, de l'état de la fertilité du sol et de la dose d'engrais épandue (Grist, 1983).

1.1.1. Les amendements organiques

Les amendements organiques peuvent être réalisés par l'addition dans le sol de compost, de résidus de récoltes, d'engrais verts, de déchets végétaux, de déjections animales telles que les fumiers de ferme, les fientes de volailles... (Ouédraogo et *al.*, 2001; Diagne, 2004). Leur apport est effectué au moment du labour à raison de 5 à 10 t/ha (ADRAO, 2008).

Les amendements organiques sont utilisés pour améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (Ouédraogo et *al.*, 2001; Wopereis et *al.*, 2008; Jarousseau et *al.*, 2016). L'augmentation de la teneur en MO du sol est en général recherchée lorsqu'on amende les sols. Une bonne teneur en MO du sol se traduit par un bon développement racinaire, une bonne capacité de rétention en eau, une CEC élevée et une meilleure résistance à l'érosion. La MO du sol est aussi source de nutriments pour la plante et pour les micro-organismes décomposeurs. (Paul et Clark, 1996; Ouédraogo et *al.*, 2001). L'apport de MO permet une augmentation durable du rendement des cultures.

En Casamance, la fertilisation organique est la principale forme de fertilisation que les paysans pratiquent pour améliorer la fertilité des sols (Bâ et Ndecky, 1998; Diop et Mané, 1998). Elle se réalise par des apports de cendre de cuisine, de feuilles de manguier, d'ordures ménagères, de bouses de vaches, l'enfouissement de la paille de riz, le brûlis des résidus de récolte... La combinaison de ces différentes formes peut également se mettre en œuvre.

1.1.2. La fertilisation minérale

L'apport d'engrais minéral permet de fournir aux plantes les éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium, etc.) immédiatement disponibles (Lacharme, 2001a). L'urée (46 % d'azote) est le principal engrais chimique utilisé pour la fertilisation minérale du riz en Afrique de l'Ouest (Wopereis et *al.*, 2008).

Les engrais azotés favorisent une croissance vigoureuse des plants de riz, la production de feuilles vertes et d'un grand nombre de talles et panicules (Lacharme, 2001a). L'application de l'azote en quantité adéquate améliore la productivité des talles et la fertilité des épillets.

Le phosphore stimule la croissance racinaire du riz et le tallage. Il agit également sur la formation et le rendement en grain. Le potassium aide les plants à devenir robustes et à résister à la sécheresse et aux maladies. Il favorise la formation de grains plus gros (Grist, 1983).

Les engrais minéraux doivent être apportés à la fois en fumures de fond et en couverture. Lorsqu'il s'agit de la fumure de fond, l'apport se fait au moment du semis avec le NPK à raison de 100 à 200 kg/ha.

En fumure de couverture l'urée est utilisée. L'apport dans ce cas, est effectué en deux ou trois fractions correspondant chacune à une phase précise de la croissance du riz.

En ce qui concerne les sols gris de Casamance, les travaux de Ganry (1974) sur la fertilisation minérale du riz ont mis en évidence un effet positif sur le rendement comparé au plateau. L'auteur a aussi mentionné que le fractionnement de la fertilisation minérale azotée induirait des différences significativement supérieures aux autres traitements.

Toutefois, l'usage des engrais chimiques est limité en Casamance à cause de l'enclavement de certaines localités de la région et le coût élevé des engrais chimiques (Diop et Mané, 1998; Chivenge et *al.*, 2009). Son utilisation est également associée à de nombreux tabous et restrictions par les croyances locales.

1.1.3. La fertilisation organo-minérale

Des apports combinés de différents types de matière organique avec des engrais chimiques augmentent la disponibilité des éléments minéraux pour les besoins des plantes (Wopereis et *al.*, 2008; Akanza et Sanogo, 2017; Bilkis et *al.*, 2017). Les applications conjointes des deux types de fumures participent au renforcement de l'efficacité des engrais chimiques. En effet, la fertilisation minérale n'est efficace que s'il existe dans le sol un taux minimum de matière organique (Akanza et Yoro, 2003). En Afrique soudano-sahélienne, pour obtenir une production agricole stable, Ganry et Badiane (1998) ont recommandé d'apporter des fertilisants combinant engrais minéraux et engrais organiques.

1.2. Le compost

1.2.1. Définition

Le compost est un produit organique résultant de la dégradation en aérobiose des composés organiques d'origine animale et/ou végétale sous l'action des micro-organismes. Le processus de transformation des composés organiques est appelé compostage (Culot et Lebeau, 1999; Misra et *al.*, 2005; Dagbenonbakin et *al.*, 2013).

Lorsque le compostage se réalise en absence d'oxygène, le processus porte la qualification de méthanisation (Jarousseau et *al.*, 2016).

La production de compost nécessite des matières biodégradables. Elles sont le plus souvent constituées de résidus agricoles (sous-produits des cultures et de l'élevage), de matières végétales (herbes et autres...), de déchets industriels fermentescibles, certains déchets domestiques...

Le compost participe à l'amélioration du statut organique du sol. Il favorise également la nutrition minérale des cultures grâce aux éléments minéraux qu'il contient (Culot et Lebeau, 1999).

1.1. Enrichissement du compost

Le compostage est une pratique généralement très laborieuse. Le processus peut être marqué par une longue durée. Pour rendre attractive la pratique de compostage, un certain nombre de techniques ont été développées. L'ajout d'additifs minéraux et l'inoculation par des micro-organismes sont parmi les techniques qui existent (Gabhane et *al.*, 2012). Ces actions ont pour but de favoriser une meilleure activité des micro-organismes décomposeurs (Himanen et Hänninen, 2009). Il en résulte une dégradation plus rapide des résidus organiques et un compost de qualité améliorée.

Les additifs minéraux couramment employés sont : les phosphates, la dolomie, la chaux... (Joliet, 1994).

1.2.2. Importance du compostage

Traditionnellement, les riziculteurs font appel à diverses techniques pour relever le niveau de fertilité de leur sol. Le brûlage de la paille (apport de cendre), l'enfouissement ou l'épandage en surface des résidus de récoltes et le compostage sont des pratiques observées en milieu rural (Bâ et Ndecky, 1998; Diop et Mané, 1998; Badiane et *al.*, 2000; Diagne, 2004).

La combustion des résidus de cultures (en plus des plantes herbacées présentes) produit de la cendre qui contribue à l'entretien minéral des cultures. En même temps, elle émet une grande quantité de CO₂. Le CO₂ est un gaz à effet de serre très néfaste pour l'environnement car il favorise le réchauffement climatique. Une perte importante en C et en N est aussi notée lors de la combustion (Khouma et *al.*, 2005).

L'épandage en surface ou l'incorporation dans le sol des sous-produits d'origines végétales et/ou animales permet de compenser les exportations d'éléments minéraux occasionnées par les cultures précédentes.

Le processus de décomposition et de mise à disponibilité des nutriments aux plantes est cependant très lent (Badiane *et al.*, 2000). Plusieurs mois sont nécessaires pour que le processus soit accompli. Certains composés stockés en l'état ou incorporés directement au sol risquent de provoquer des nuisances et d'émettre des gaz à effet de serre. Des phénomènes de toxicité peuvent y être observés (Ganry et Badiane, 1998). De plus, leur gestion exige le déploiement de grands moyens (main d'œuvre, matériels) du fait de l'important volume des résidus de récolte à valoriser (Jarousseau *et al.*, 2016).

Le traitement préalable des composés organiques par voie de compostage présente de nombreux intérêts. Il permet de produire un engrais organique relativement stable et homogène. Une élimination de la plupart des germes pathogènes a lieu au cours du processus (Culot et Lebeau, 1999). Par le recyclage des déchets d'origine diverse, le compostage contribue à l'assainissement de l'environnement (Martinez-Blanco *et al.*, 2013).

Le compost a l'avantage d'être facilement minéralisable. La libération lente des substances nutritives qui découle de l'application de compost permet une production durable du système agricole (Culot et Lebeau, 1999; Dagbenonbakin *et al.*, 2013).

1.2.3. Evaluation qualitative d'un compost

La caractérisation d'un compost repose sur l'évaluation de sa valeur fertilisante et amendante (Ganry et Olivier, 2005). En général, celle-ci peut se réaliser par l'appréciation de la teneur des principaux éléments nutritifs, la teneur en MO, la teneur en MS et le pH ((Tremier *et al.*, .2007; Lompo *et al.*, 2009; Dagbenonbakin *et al.*, 2013; Koulibaly *et al.*, 2015). Des valeurs seuils pour chacune de ces caractéristiques ont été définies par l'association française de normalisation (Leclerc, 2001).

Le C/N est aussi fréquemment utilisé pour évaluer les composts. Un compost présentant un $C/N < 20$ est mature (Hirai *et al.*, 1983; Roletto *et al.*, 1985; Jarousseau *et al.*, 2016).

Les tests de phytotoxicité sont également mises en œuvre pour évaluer l'aptitude du compost à favoriser ou inhiber la germination et la croissance de plantes tests. Il s'agit donc d'une méthode biologique permettant d'indiquer la qualité du compost (Tremier *et al.*, .2007).

Il existe aussi des indicateurs physiques basés sur l'appréciation de l'odeur, de la couleur et de la granulométrie du compost (Tremier *et al.*, .2007). Un compost mature dégage une odeur d'humus. Sa couleur est brunâtre. La granulométrie du compost diminue fortement à la fin du processus.

1.2.4. Effets du compost sur les caractéristiques du sol et sur les cultures

L'apport de compost peut significativement améliorer les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol. Les effets du compost sur les caractéristiques du sol ont fait l'objet de plusieurs études. Martinez-Blanco et *al.*, (2013) ont répertoriés pas moins de neuf (9) effets du compost sur le sol. Ils les ont classifiés suivant le temps d'action, soit : en effets sur le court terme, effets sur le moyen terme et effets sur le long terme.

Babalola et *al.*, (2012) et Adugna (2016) ont montré que le compost augmenterait la teneur en MO du sol. Il en résulte une meilleure stabilité structurale, une amélioration de la capacité de rétention en eau et une réduction de l'érosion.

L'utilisation du compost peut aider à la restauration des sols dégradés (Sizukani et *al.*, 2014; Al-Bataina et *al.*, 2016; Strachel et *al.*, 2017).

Sur le plan biologique, l'ajout d'une quantité suffisante de MO stimule l'activité des micro-organismes (Das et *al.*, 2017). Cela s'accompagne d'une minéralisation et d'une disponibilité plus grande des nutriments aux cultures.

Jarousseau et *al.*, (2016) ont mentionné que l'influence des composts sur le sol commence à s'observer sur le moyen terme.

Sur le plan agronomique, l'utilisation du compost entrainerait un meilleur développement des cultures. Dagbenonbakin et *al.*, (2013) et Koulibaly et *al.*, (2015) ont rapporté que le compost augmenterait la productivité des systèmes de culture à base de coton et de maïs. Les effets d'engrais des compost sur une culture de sorgho ont été étudiés par Bambara et *al.*, (2014). L'influence du compost sur le riz a aussi intéressé de nombreux auteurs (Khouma et *al.*, 2000; Bekayo, 2003; Achu et *al.*, 2013).

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

- Localisation géographique

L'étude a été réalisée en 2017 au Centre de Recherches Agricoles (CRA) de Djibélor. Ce centre est situé dans le village de Djibélor, commune de Niaguis, région de Ziguinchor (Figure 1). Les coordonnées géographiques du site sont les suivantes: 12°33'13" Nord et 16°30'00" Ouest.

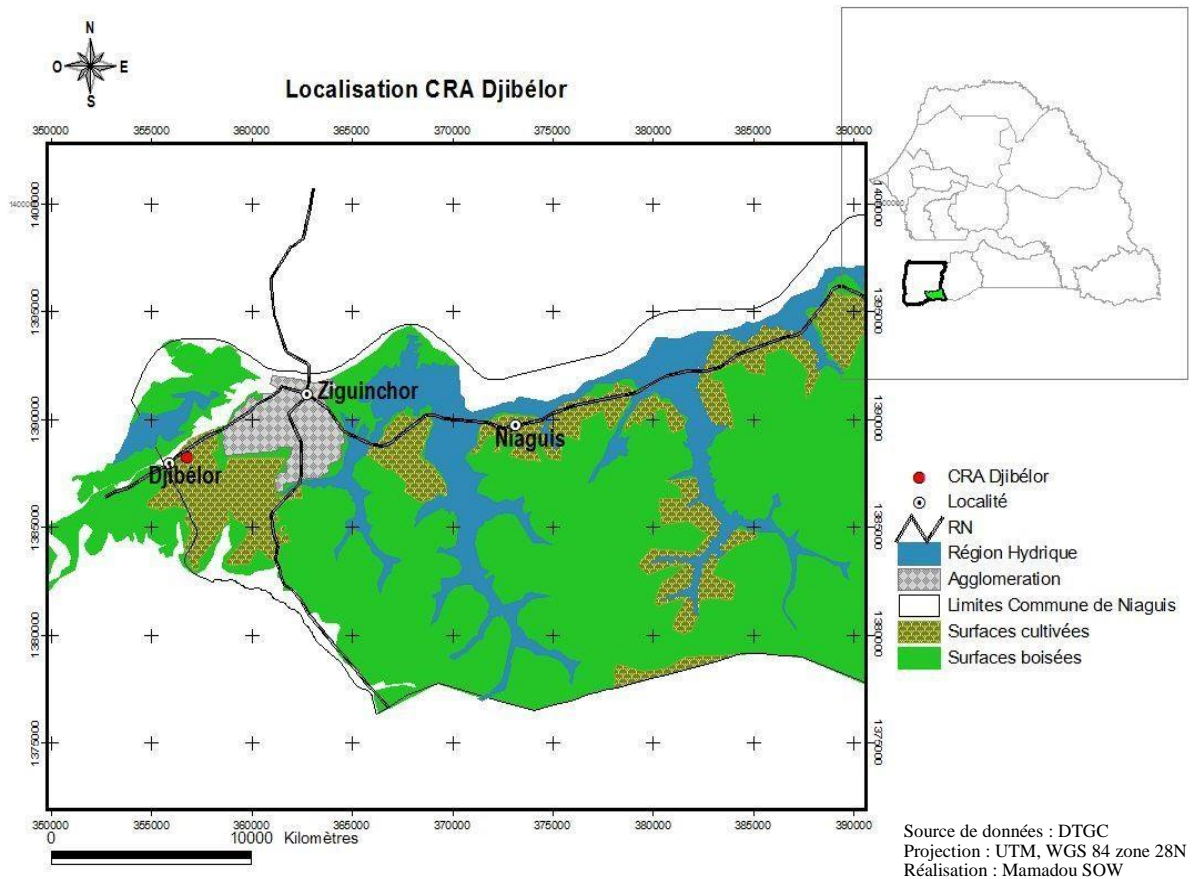


Figure 1 : localisation du site d'expérimentation

- Le climat

Le climat de la région est du type soudanien côtier Sud (Sagna, 2005). Il est caractérisé par l'existence de deux saisons: une saison sèche de 7 à 8 mois qui s'étale de novembre à mai et une saison pluvieuse qui dure 4 à 5 mois (de juin à octobre). La température moyenne annuelle est d'environ 27 °C (période entre 1984 et 2012). Les températures minimale et maximale sont de 15,5 et 37 °C. Elles sont enregistrées respectivement au mois de janvier et avril. La pluviométrie moyenne annuelle est estimée 1316 mm.

- Le sol

L'essai a été réalisé en zone de nappe. Il s'agit de la zone de transition située entre le plateau et le bas-fond. Les sols de cette zone font partie de la classe des sols hydromorphes selon la classification française des sols (CPCS, 1967). Ils sont marqués par l'existence d'une nappe d'eau, le Continental Terminal, qui affleure à certaines périodes de l'année. La dynamique de la nappe provoque le lessivage, l'ensablement et l'appauvrissement des profils généralement très sableux (Accolatsse, 1974). Les sols gris sont des sols peu évolués d'apport colluvial hydromorphes (CPCS, 1967). Ils se distinguent par la présence d'un horizon superficiel gris, une texture grossière et quelquefois, il s'y trouve des taches rouges ou jaunes d'accumulation de fer. D'après Bertrand et *al.*, 1978; Siband, 1989; Diatta, 1996 les sols de nappe sont le plus souvent très sableux (80 % de sable), pauvre en MO (moins de 2 %) et présente une CEC réduite (0,5-2,0 meq/100 mg). Les sols gris de nappe correspondent au Gleyic Arenosol dans la classification FAO (IUSS Working Group WRB, 2015).

2.2. Le matériel végétal

Le matériel végétal utilisé pour cet essai est la variété de riz Tox 728-1. Cette dernière est caractérisée par un rendement potentiel variant de 4,5 à 6,5 t/ha et un cycle de développement d'environ 105 jours (ISRA, 2012b). Il s'agit d'une variété de riz adaptée à la riziculture de nappe. Elle est tolérante aux conditions particulières (toxicité...) qui prévalent dans cet écosystème.

2.3. Les fertilisants et les composts

Pour mener cette expérimentation, trois fertilisants ont été utilisés: le NPK (15-15-15), l'urée et le compost. L'engrais NPK (15-15-15) a servi de fumure de fond. L'urée (46 % d'azote) constitue le fertilisant minéral azoté (FMA). Concernant l'amendement organique, deux formules de compost (F1 et F2) ont été préparées.



Figure 2 : compost F1 (a) et F2 (b) après criblage à l'aide d'un tamis à 20 cm de maille.

Les différentes matières qui composent chaque formule sont détaillées dans le tableau 1.

La formule 1 du compost comprend uniquement des matières organiques dont 43,58 % de la masse totale (436 kg) sont fait de paille de riz. Par contre, la formule 2 contient en plus des matières organiques des additifs minéraux (phosphogypse et urée). La masse totale (434 kg) est formée à 43,78 % par la paille de *Andropogon gayanus* Kunth.

Tableau 1 : composition de chaque formule de compost.

Types de matières	Quantité (kg)	
	Formule 1 (F1)	Formule 2 (F2)
Cendres de bois mort	25	25
Poudrette de fumier d'étable	93	93
Résidus vert de <i>Crotalaria retusa</i>	2	2
Poudrette d'arachide	85	85
Fientes de volailles	37	29
Paille de riz	190	-
Poudrette de coquillage broyé	4	-
Paille de <i>Andropogon gayanus</i> Kunth	-	190
Urée	-	8
Phosphogypse	-	2

NB : les tirets (-) correspondent à l'absence du constituant dans la formule.

2.4. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est en split-plot avec 2 facteurs et 3 répétitions.

- La fertilisation minérale (urée à 46 % d'azote) avec deux (2) modalités: sans azote et avec azote. Elle constitue le facteur principal. L'urée est épandue à la dose de 150 kg/ha.
- L'apport de compost avec trois (3) niveaux; le contrôle sans compost (F0), la formule 1 (F1) et la formule 2 (F2) de compost. c'est le facteur secondaire. La dose d'application du compost a été de 5 t/ha.

Les différents traitements et leurs abréviations sont indiqués dans le tableau 2.

Tableau 2 : les différents traitements et leurs abréviations

Traitements	Abréviations
Contrôle	F0
Formule 1 de compost (5 t/ha)	F1
Formule 2 de compost (5 t/ha)	F2
Azote (150 kg /ha d'urée à 46% N)	N
Formule 1 de compost (5 t/ha) + Azote (150 kg /ha)	F1 + N
Formule 2 de compost (5 t/ha) + Azote (150 kg /ha)	F2 + N

Au total, l'essai compte dix-huit (18) parcelles élémentaires réparties en trois (3) blocs. Il y a dans chaque bloc 6 parcelles élémentaires (correspondant aux traitements) distantes de 1 m l'une de l'autre. La parcelle expérimentale mesure 12 m² (4 m x 3 m). Les blocs sont séparés par une allée de 1 m (figure 3).

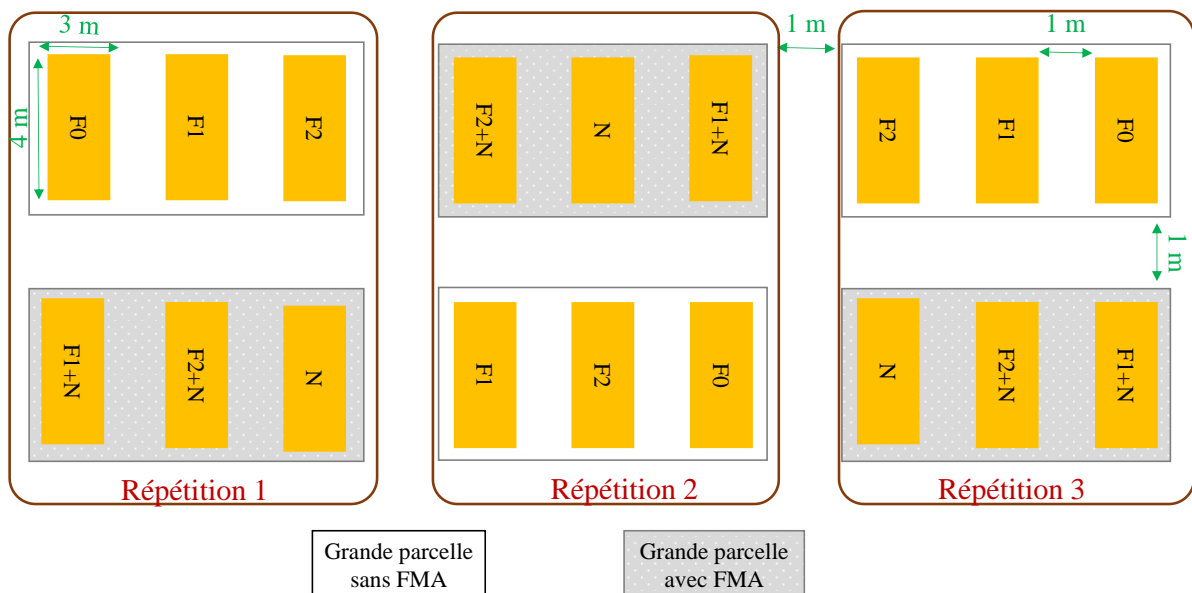


Figure 3 : dispositif expérimental

2.5. Mise en place et conduite de l'essai

2.5.1. Préparation du sol

La préparation du sol devant servir à l'expérimentation a débuté par un labour. Il s'en est suivi une épuration qui a permis de débarrasser le champ de ses impuretés.

A la suite de ce nettoyage, une délimitation des blocs et des parcelles élémentaires à l'aide de piquets a été effectuée. Cette opération est complétée par un nivellement du champ. Le terrain préparé a reçu le NPK (15-15-15) comme fumure de fond sur toute la parcelle. Conformément aux recommandations de la recherche, la dose appliquée pour le NPK est de 200 kg/ha.

2.5.2. Semis

Le traçage des lignes de semis s'est fait avec un rayonneur. Ainsi, un rayonnage croisé a marqué les poquets de semis. Le semis de 3 à 4 graines est effectué à la main, au niveau des poquets déjà matérialisés par le rayonneur. Les poquets sont distants de 0,25 cm sur la même ligne et de 0,25 cm d'une ligne à l'autre.

Lorsque le riz fût au stade 4-5 feuilles, un démariage à 1 plant par poquet est effectué.



Figure 4 : délimitation (a) et semis des grains de riz (b).

2.5.3. Entretien de la culture

Les opérations d'entretien ont consisté à un désherbage. Ce dernier s'est réalisé manuellement et à 3 reprises. Le premier est effectué au 15^{ème} JAS, le deuxième à 15 jours d'intervalle du premier c'est-à-dire au 30^{ème} JAS et enfin le troisième s'est fait au 50^{ème} JAS.

2.5.4. Application de la fertilisation minérale et des composts

Chaque parcelle du dispositif a reçu 240 g de NPK comme fumure de fond avant le semis, ce qui correspond à 200 kg/ha.

La fertilisation minérale azotée (urée à 46 % de N) est appliquée en trois fractions. Le premier apport (40 %) à la dose de 150 kg/ha s'est fait au démariage c'est-à-dire au 15^{ème} JAS. Le deuxième (40 %) est réalisé 25 jours après le premier (40^{ème} JAS), cela correspondait au stade de tallage. La fraction restante (20 %) est appliquée 15 jours après la deuxième fraction.

L'épandage de l'urée s'est fait de façon localisée sur les lignes de semis.

Les composts ont été appliqués au 15^{ème} JAS au niveau de chaque poquet de semis. Des demi-lunes ont été creusées pour cela.

2.6. Collecte de données

La collecte et l'analyse des données a porté essentiellement sur: le prélèvement et l'analyse physico-chimique du sol avant et en fin d'essai, la caractérisation des composts préparés et le suivi agro-morphologique du riz dans les parcelles expérimentales.

2.6.1. Prélèvement et caractérisation des échantillons de sol

Deux prélèvements d'échantillon de sols sont effectués sur l'horizon 0-20 cm à l'aide d'une tarière. Le premier s'est opéré avant l'épandage de la fumure de fond alors que le second s'est réalisé après la récolte du riz. Ainsi, pour chaque parcelle élémentaire un échantillon composite, constitué de 5 prélèvements effectués au centre et aux quatre coins, est collecté avant et en fin d'essai. Les échantillons ont été séchés à l'air libre, tamisés à 2 mm et conservés à température ambiante.

Les analyses physico-chimiques des sols ont concerné la texture, les teneurs en phosphore (P), en azote (N), en carbone organique (C_{org}), la CEC (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) le pH (KCl) et la teneur en humus.

Dosage colorimétrique du phosphore

La détermination colorimétrique du phosphore des divers extraits d'échantillons de sols est effectuée par réduction au bleu de molybdène à froid selon Murphy et Riley, 1962.

La teneur en phosphore est exprimée en mg/100 g de sol.

Dosage du C et N totaux

Le principe du dosage des teneurs en C et N totaux est basé sur une oxydation catalytique à l'aide d'un analyseur élémentaire (CHNSO EA 1112 Thermofinnigan Series, France). Cet appareil est équipé d'un brûleur, des nacelles en étain utilisées pour contenir l'échantillon à brûler et d'un détecteur à conductibilité thermique. La combustion assure l'élimination de la matière organique par augmentation de la température jusqu'à 1800 °C. Ce qui permet l'obtention du carbone sous forme de CO_2 et de l'azote sous forme de NO. Ces deux composés passent successivement dans le catalyseur d'oxydation (900 °C) et dans la colonne de réduction (750 °C). Le carbone est alors transformé en gaz carbonique (CO_2) et l'azote en monoxyde d'azote (NO). La séparation des deux composés est faite par chromatographie en phase gazeuse utilisant l'hélium comme gaz vecteur qui accélère l'extraction des gaz (CO_2 et NO). La procédure adoptée comprend une mesure de l'humidité du sol (aliquote) durant une nuit à l'étuve à 105 °C. Les résultats sont exprimés en mg C/g de sol sec pour le carbone total et en mg N/g de sol sec pour l'azote total.

Mesure du pH (KCl)

Le pH (KCl) correspond à la concentration en hydrogène $[H^+]$ du sol obtenue après ajout dans une suspension de sol diluée à 1:5 (fraction volumique) dans une solution de chlorure de potassium (KCl) à 1 mol/l.

Le KCl a pour effet de chasser les H^+ fixés sur le Complexe Argilo-Humique, ce qui permet de déterminer l'acidité totale ou acidité de réserve du sol. C'est donc un pH «théorique» qui permet de connaître l'acidité potentielle du sol.

Dosage de la teneur en humus

La détermination de la teneur en humus est réalisée indirectement à partir du dosage de la teneur en carbone organique, suivant la méthode normalisée internationale NF ISO 14235. Le taux de matière organique est calculé en multipliant la teneur en carbone par le coefficient stable dans les sols cultivés régionaux, fixé à 2. La teneur en humus est ainsi donnée par une valeur calculée: carbone organique x 2. D.W. Pribyl-2010 ($MO=C \times 2$).

Mesure de la capacité d'échange cationique (CEC).

La capacité d'échange cationique du sol est la quantité totale de cations que le complexe d'échange d'un sol peut fixer. Les cations échangeables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) du sol sont extraits par percolation avec une solution normale d'acétate d'ammonium. Les résultats sont exprimés en mg/100 g de sol sec.

2.6.2. Paramètres déterminés sur le riz

Les observations et mesures sont effectuées au cours des différents stades de développement des plants de riz. Les données ont été collectées dans le carré de rendement. Ce dernier est constitué de 48 plants. Il est formé en éliminant 4 et 3 lignes de bordure respectivement sur les longueurs et largeurs de chaque unité expérimentale.

Les paramètres agro-morphologiques déterminés sont: la hauteur des plants, le taux de talles infertile, le taux de stérilité, le nombre de talles, le nombre de panicule par m^2 , le poids des 1000 grains, le rendement et l'indice de récolte.

- La hauteur des plants:

L'évolution de la hauteur des plants est suivie sur les 7 plants choisis aléatoirement dans le carré de rendement. Les mesures de hauteur sont faites, à l'aide d'une règle graduée, à 5 différentes dates espacées de 2 semaines. La première mesure de hauteur a eu lieu 1 mois après l'application des facteurs alors que la dernière est réalisée à la veille de la récolte.

La hauteur est prise de la base jusqu'au sommet de la plus haute panicule. Elle est exprimée en cm.

- Le rendement en grains et ses composantes

Pour chaque traitement, la récolte du riz a été effectuée dans le carré de rendement. Le riz a été fauché au ras du sol à l'aide d'une faucille et la biomasse fraîche a été pesée. Il a été procédé après cela, au séchage de la biomasse récoltée pendant 15 jours au soleil. Les graines ont ensuite été séparées de la paille.

Le rendement est la production de grain par unité de surface. Son élaboration intègre plusieurs composantes.

Le taux de talles infertiles a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{Taux de talles infertiles} = \frac{\text{nombre de talles/m}^2 - \text{nombre de panicules/m}^2}{\text{nombre de talles/m}^2} \times 100$$

Le poids des 1000 grains est déterminé après égrainage du riz. Pour cela, trois échantillons constitués de grains pleins ont été pesés à l'aide d'une balance électronique pour chaque traitement.

Le nombre total d'épillets et le nombre d'épillets vides par panicule sont estimés à partir d'un échantillon représentatif comprenant 10 panicules. En utilisant ces deux données, le taux de stérilité a été déterminé comme suit :

$$\text{Taux de stérilité} = \frac{\text{nombre d'épillets vides}}{\text{nombre total d'épillets}} \times 100$$

Le rendement en grains est calculé suivant la méthode décrit par Lacharme, 2001b.

$$\text{Rendement en grains (kg/ha)} = (\text{nombre de plants/ha}) \times (\text{nombre de talles/plant}) \times (\text{nombre de panicules/talle}) \times (\text{nombre grains/panicule}) \times (\text{poids grain})$$

L'indice de récolte est calculé comme suit :

$$\text{Indice de récolte (I.R)} = \frac{\text{Rdt en grains}}{\text{Rdt en grains} + \text{Rdt en paille}}$$

2.7. Analyses et traitements des données

Les données ont été traitées avec le logiciel Xlstat version 2014.5.03. Au seuil de 5 %, le test de Wilcoxon a permis la comparaison des deux types de compost. Une analyse de variance à 2 facteurs et une comparaison des moyennes sont effectuées avec le test de Fisher ($p < 0,05$).

Une analyse en composantes principales (ACP) est utilisée pour étudier les interrelations entre les paramètres agro-morphologiques du riz. Les corrélations entre ces paramètres et les traitements étudiés ont également été abordées.

Chapitre 3: Résultats et Discussion

3.1. Résultats

3.1.1. Caractérisation chimique des composts

Les différentes caractéristiques des composts préparés sont présentées dans le tableau 3.

Il ressort, du test de comparaison apparié de Wilcoxon, que les échantillons de compost F1 et F2 présentent des différences significatives ($p=0,038$).

La formule 2 présente des valeurs de MO totale, de pH et de C/N plus élevées que celles de la formule 1. Elles sont respectivement de 37,29 %; 8,3 et 11,3 pour la F2 contre 32,18 %; 8 et 9,7 pour la F1.

En dehors de l'azote dont la teneur sur F1 (1,93 % MS) est supérieure à celle sur F2 (1,91 % MS), tous les autres éléments fertilisants ont des teneurs plus élevés sur F2.

Tableau 3 : caractéristiques chimiques des composts.

	Formule 1 (F1)	Formule 2 (F2)
Matière sèche (%)	65	60,9
Matière Organique totale (% MS)	32,18	37,29
Cendres totales (% MS)	67,82	62,71
Azote total _ N (% MS)	1,93	1,91
Phosphore _ P ₂ O ₅ (% MS)	1,02	1,81
Potassium _ K ₂ O (% MS)	2,02	3,24
Calcium _ CaO (% MS)	4,19	5,5
Magnésium _ MgO (% MS)	1,07	1,62
Sodium _ Na ₂ O (% MS)	0,89	0,43
Fer _ Fe (mg/kg MS)	3 251	4 482
Manganèse _ Mn (mg/kg MS)	482	499
Cuivre _ Cu (mg/kg MS)	14	21
Zinc _ Zn (mg/kg MS)	124	180
pH	8	8,3
C/N	9,7	11,3

3.1.2. Caractéristiques initiales du sol

Les analyses de l'état initial du sol indiquent que celui-ci a une texture limoneuse (tableau 4).

Le pH (KCl), compris entre 4 et 4,10 dénote un milieu acide.

Le sol présente des teneurs basses en phosphore (0,50 à 0,60 mg/100 g), en potassium (moins de 2,50 mg/100 g de sol), en calcium (<13 mg/100 g de sol) et en magnésium (1,40 mg/100 g de sol). La teneur en humus est également faible. Elle varie entre 0,80 et 1 %.

Tableau 4 : caractéristiques initiales du sol.

Caractéristiques du sol	Teneurs
Texture	Limon
pH (KCl)	4 - 4,10
Phosphore	0,50 - 0,60 mg/100g
Potassium	< 2,5 mg/100g
Calcium	< 13 mg/100g
Magnésium	< 1,4 mg/100g
Carbone organique	4 à 5 g/kg
Humus	0,80 - 1 %

3.1.3. Effet des traitements sur les caractéristiques du sol

Effet des traitements sur la teneur en phosphore (P)

Les traitements n'ont pas significativement modifié la teneur en phosphore ($p= 0,428$). Le test de comparaison des moyennes n'a également pas affiché de différences significatives entre traitements.

La teneur moyenne en P a été de 0,55 ($\pm 0,09$) mg/100 g de sol. La teneur la plus faible a été celle du traitement N (0,5 mg/100 g de sol) alors que la plus forte (0,63 mg/100 g de sol) est celle avec la F1. L'apport de F1 a amélioré la concentration finale de 0,03 mg/100 g de sol. La présence et l'absence de FMA ont induit des teneurs en P respectivement de 0,56 et 0,54 mg/100 g de sol (tableau 5).

Evolution du pH (KCl)

Après traitements, le pH (KCl) n'a pas connu de grandes variations comparé au sol de référence (tableau 5).

L'Anova a montré que les traitements n'ont pas significativement affecté le pH ($p= 0,473$). La valeur moyenne de pH (KCl) est de 4,10 ($\pm 0,08$). Les traitements N et F2+N ont affiché les pH moyens les plus bas (4,07) alors que le plus élevé (4,17) est mesuré sur le contrôle (F0). Les traitements sans fertilisation minérale azotée ont amélioré le pH initial de 0,04 unité. L'apport de la formule 1 du compost a généré une valeur de pH (4,07) identique à celui du sol initial. La formule 2 (F2) a provoqué une hausse du pH (KCl) initial de 0,03 unité.

Effet sur la teneur en potassium (K) et en azote total (N_{total})

Les teneurs en potassium et en azote total n'ont pas été affectées par les traitements. Elles sont restées inférieures à 2,5 mg/100 g de sol pour le potassium et 0,047 % pour l'azote total (tableau 5).

Tableau 5 : caractéristiques chimiques du sol final suivant les traitements.

Traitements	Caractéristiques du sol							
	P	K	Mg	Ca	C _{org}	N _{total}	C/N	pH(KCl)
	mg/100g sol					% MS		
Sol initial	0,50-0,60	< 2,5	1,40	< 13	4-5	< 0,047	-	4 - 4,10
F0	0,53 a	< 2,5	1,47 a	15,67 a	5,40 a	< 0,047	14,33 a	4,17 a
F1	0,63 a	< 2,5	2,13 a	13,67 a	5,30 a	< 0,047	13,33 a	4,07 a
F2	0,50 a	< 2,5	2,13 a	14,33 a	5,30 a	< 0,047	15,00 a	4,13 a
N	0,50 a	< 2,5	2,33 a	15,33 a	5,30 a	< 0,047	15,00 a	4,07 a
F1+N	0,57 a	< 2,5	1,80 a	13,33 a	5,30 a	< 0,047	14,00 a	4,10 a
F2+N	0,57 a	< 2,5	2,13 a	14,33 a	5,38 a	< 0,047	14,33 a	4,07 a
FMA	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Compost	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FMA+Compost	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
R ²	0,19	-	0,22	0,12	0,25	-	0,13	0,10
Moyenne	0,55	< 2,5	2	14,44	5,33	< 0,047	14,33	4,10
Ecart-type	± 0,09	± 0,00	± 0,63	± 2,50	± 0,08	± 0,00	± 1,37	± 0,08

ns= non significative selon le test de Fisher au seuil de 5%.

Effet sur la teneur en magnésium (Mg)

La teneur en magnésium a varié entre 1 et 3 mg/100 g de sol. La teneur moyenne est estimée à 2 (±0,63) mg/100 g de sol. L'effet des traitements sur la teneur en Mg n'est pas significative (p= 0,660). Le traitement N a induit la teneur en Mg la plus forte (2,33 mg/100 g de sol) alors que la plus faible (1,47 mg/100 g de sol) est observée sur le contrôle (F0).

La comparaison de la teneur en Mg entre les traitements en présence et ceux en absence permet de constater que la teneur est plus élevée en présence de la fertilisation minérale azotée (2,09 contre 1,91 mg/100 g de sol).

Effet sur la teneur en calcium (Ca)

Les teneurs minimale et maximale en calcium quantifiée après récolte du riz sont de 13 et 21 mg/100 g de sol. La teneur moyenne est estimée à 14,44 (± 2,50) mg/100 g de sol.

Les effets des traitements sur le Ca ne sont pas significatifs (p= 0,893).

Le test de Fisher a montré que les traitements F0, F1, F2, N, F1+N, F2+N ont comparativement la même teneur en Ca. Ils sont classés dans le même groupe (a). Leur teneur est néanmoins statistiquement plus élevée que celle du sol initial (< 13 mg/100 g de sol).

Le traitement contrôle (F0) a présenté la teneur en Ca la plus forte (15,67 mg/100 g) alors que la plus faible (13,33mg/100 g de sol) est observée sur la combinaison F1+N.

En absence de FMA, la teneur en Ca est estimée à 14,56 mg/100 g de sol. Elle est plus élevée comparée à la teneur en présence de FMA (14,33 mg/100 g de sol).

Effet sur la teneur en carbone organique (C_{org})

La teneur finale en carbone organique n'est pas significativement influencée par les traitements ($p= 0,08$). Sa variation est comprise entre 5,30 et 5,59 g/kg de sol. La teneur moyenne en C_{org} est estimée à 5,33 ($\pm 0,08$) g/kg de sol. La plus faible teneur en C_{org} est mesurée sur F0 (5,30 g/kg de sol) alors que la plus élevée est notée sur N (5,40 g/kg de sol).

Les traitements en présence de l'azote et ceux en absence ont, en moyenne, présenté la même teneur (5,33 g/kg de sol).

Effet des traitements sur le rapport C/N

Le rapport C/N du sol en fin d'essai a varié entre 11 et 16. Le C/N moyen tourne au tour de 14,33 ($\pm 1,37$). L'Anova n'a pas mentionné d'effet significatif des traitements sur le C/N ($p = 0,733$). Le plus faible rapport C/N est observé sur F1 (13,33) alors que le plus élevé est noté sur F2 (15). En moyenne, le C/N des traitements en absence de l'azote est évalué à 14,22. Il est moins élevé que celui des traitements en présence de l'azote (14,44).

3.1.4. Effet des traitements sur les paramètres agro-morphologiques du riz

- Croissance en hauteur

Il ressort de l'analyse de la variance que la combinaison de la fertilisation minérale et du compost a une influence très significative ($p= 0,001$) sur la hauteur au 45^{ème}, 60^{ème}, 75^{ème} et 105^{ème} JAS (tableau 6). Par contre, l'application du compost n'a pas d'effet significatif sur la hauteur qu'au 90^{ème} JAS.

La comparaison des moyennes a indiqué que les plus hautes plantes sont observées sur les traitements combinant la fertilisation minérale azotée et le compost (F2+N et F1+N). Les plus courtes plantes sont mesurées sur le traitement contrôle (F0) (Tableau 5).

Ainsi considérant la hauteur à la récolte (105^{ème} JAS), elle a été de 112,06 cm pour F2+N et 111,34 cm pour F1+N alors qu'elle est estimée à 93,80 pour F0.

L'apport de compost seul a amélioré significativement ($p < 0,0001$) la hauteur à la récolte (105^{ème} JAS) de 12,08 cm pour la F2 et de 10,57 cm pour la F1 alors que la fertilisation minérale azotée l'a augmentée de 15,32 cm par rapport au témoin.

Tableau 6 : croissance en hauteur suivant les traitements.

Traitements	Hauteur (cm)				
	45 ^{ème} JAS	60 ^{ème} JAS	75 ^{ème} JAS	90 ^{ème} JAS	105 ^{ème} JAS
F0	54,70 c	64,24 d	80,28 b	93,37 c	93,80 d
F1	62,52 ab	75,06 bc	91,97 a	103,34 b	104,36 c
F2	61,99 b	71,99 c	92,62 a	104,27 b	105,87 bc
N	65,05 ab	77,79 ab	91,95 a	108,33 ab	109,12 ab
F1+N	64,41 ab	78,36 ab	96,63 a	112,27 a	111,34 a
F2+N	66,10 a	80,35 a	96,84 a	111,57 a	112,06 a
FMA	< 0,0001	< 0,0001	0,001	ns	< 0,0001
Compost	ns	ns	ns	< 0,0001	ns
FMA+Compost	0,001	0,0002	0,001	< 0,0001	< 0,0001
R ²	62,46	74,63	91,71	105,53	106,09
Moyenne	± 7,22	± 9,23	± 12,24	± 10,27	± 9,21
Ecart-type	0,27	0,34	0,2	0,39	0,45

ns= non significative selon le test de Fisher au seuil de 5%.

- Le rendement grains et ses composantes

Nombre de talles par m²

La fertilisation minérale, l'apport de compost et leur combinaison expliquent 31 % de la variance du nombre de talles/m² ($p < 0,0001$). Le tallage moyen a été de 407,94 (± 114) talles/m². Les effets de la fertilisation minérale sur le nombre de talles/m² sont très significatifs ($p < 0,0001$). Le tallage avec les traitements ayant reçu la fertilisation minérale azotée (seule ou associée au compost) est plus élevé que celui avec les traitements qui ne l'ont pas reçue. En moyenne, la production de talles/m² est estimée à 485 pour la combinaison fertilisation minérale et compost alors qu'elle est de 362 lorsque le compost seulement est appliqué. Le tallage le plus important (502,38 talles/m²) est obtenu avec F2+N alors que le moins important est noté sur le contrôle (278,57 talles/m²).

Taux de talles infertiles

L'Anova n'a pas signalé d'effets significatifs des traitements sur le taux d'infertilité ($p > 0,05$). Le taux de talles infertiles a varié entre 50,24 et 62,53 %. Le taux moyen de talles infertiles tourne au tour de 52,47 ($\pm 7,77$) %.

La comparaison des moyennes réalisée avec le test de Fisher a indiqué que les traitements sans fertilisation minérale F0 (50,24 %), F1 (51,61%), F2 (54,42 %) ont été moins infertiles. Le taux d'infertilité le plus élevé (62,53 %) est constaté chez F2+N (tableau 7).

Tableau 7 : variation du rendement en grains et ses composantes suivant les traitements.

Traitements	Paramètres						
	Tal/m ²	Pani/m ²	%Tal Infer	%Stéri	1000Grain	Rdt Grains	I.R
F0	278,57 c	139,29 c	50,24 a	9,26 b	26,60 a	3299,66 a	0,60 b
F1	336,91 bc	154,76 bc	51,61 a	14,42 a	25,52 ab	3976,36 ab	0,52 ab
F2	386,91 b	171,43 bc	54,42 a	13,73 a	25,55 ab	4103,33 ab	0,52 ab
N	475,00 a	209,52 a	55,69 a	13,49 a	25,94 ab	6074,36 b	0,46 a
F1+N	467,86 a	204,76 a	57,12 a	12,82 ab	22,98 b	4698,05 ab	0,45 a
F2+N	502,38 a	185,71 ab	62,53 a	10,63 ab	25,03 ab	4683,60 ab	0,42 a
FMA	< 0,0001	< 0,0001	ns	ns	0,029	ns	0,008
Compost	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FMA*Compost	ns	ns	ns	ns	0,030	ns	ns
Moyenne	407,94	177,58	52,47	12,589	25,27	4472,55	0,50
Ecart-type	± 114,10	± 33,30	± 7,77	± 4,00	± 1,88	± 1373,00	± 0,09
R ²	0,31	0,19	0,04	0,05	0,26	0,41	0,46

Nombre de panicules par m²

Le nombre moyen de panicule/m² est estimé à 177,58 (± 59). L'analyse de la variance indique qu'il y a une influence très significative de la fertilisation minérale (p< 0,0001). La comparaison des moyennes établie avec le test de Fisher montre que les plantes sous fertilisation minérale seule ont épié le plus (209,52 panicules/m²). Elle est suivie par les traitements associant la fertilisation minérale et le compost (204,76 panicules/m² pour F1+N et 185,71 panicules/m² pour F2+N). Le nombre de panicules/m² le plus bas (139,29) est obtenu sur le contrôle. L'application de compost seul n'a pas induit de différences significatives avec le contrôle. Elle a, par contre, entraîné une augmentation de 32 (F2) et 15 (F1) panicules/m² par rapport à F0 (tableau 7).

Taux de stérilité

Le paramètre taux de stérilité a évolué entre 9,26 et 14,42 %. Le taux moyen de stérilité tourne au tour de 12,39 %. Des effets non significatifs des traitements sur le taux de stérilité ont été indiqués par l'analyse de la variance (p> 0,05).

Les traitements avec compost F1 (14,42 %), F2 (13,73 %) et celui avec la fertilisation minérale N (13,49 %) ont présenté les taux de stérilité les plus élevés (tableau 7). Ils sont significativement différents ($p < 0,05$) du contrôle. Ce dernier affiche le taux de stérilité le plus faible (9,26 %).

Poids des 1000 grains

La variabilité du poids des 1000 grains est expliquée à 26 % par les effets de la fertilisation minérale, du compost et de leur combinaison. Le poids moyen des 1000 grains est estimé à 25,27 ($\pm 2,24$) g. L'Anova a renseigné des différences significatives entre les traitements F0 et F1+N ($p < 0,05$). Le classement fait avec le test de comparaison des moyennes indique que les plus lourds grains (26,60 g) ont été développés par F0 alors que les moins lourds (22,98 g) sont obtenus avec F1+N (tableau 7).

Rendement en grains

Les effets de la fertilisation minérale, du compost et de leur combinaison sont à l'origine de 41 % de la variance du rendement en grains. Des rendements compris entre 3276,36 et 6074,36 kg/ha sont notés. Le rendement moyen est approximativement égal à 4472,55 (± 1373) kg/ha.

Les effets des traitements sur le rendement en grains ne sont pas significatifs ($p > 0,05$).

Le test de comparaison des moyennes (Fisher) montre que le meilleur rendement en grains (6074,36 kg/ha) a été celui avec la fertilisation minérale azotée seule (N).

Bien qu'elle soit statistiquement plus élevée que les autres traitements, la fertilisation minérale azotée (N) ne présente des différences significatives qu'avec le contrôle ($p = 0,019$). L'écart par rapport à ce dernier est estimé à 2774,75 kg/ha soit une hausse de 84 %.

L'association fertilisation et compost a permis une production moyenne de 4690,83 kg/ha, soit une amélioration d'environ 1391,21 kg/ha par rapport au contrôle et de 650,98 kg/ha par rapport au compost seul. En moyenne l'apport de compost seul a permis d'obtenir 4039,84 kg/ha. Une amélioration de 20 (F1) et 24 % (F2) du rendement en grains est notée avec les apports de compost comparé au contrôle.

Indice de récolte (I.R)

Les variations de l'I.R sont comprises entre 0,42 et 0,60. La valeur moyenne de l'I.R a été de 0,50 ($\pm 0,09$). La fertilisation minérale a significativement affectée l'I.R ($p = 0,011$). L'apport de compost n'a pas induit des effets significatifs sur l'I.R.

L'indice de récolte le plus élevé (0,54) est notée sur F0 alors que le plus petit I.R (0,36) est affiché par F1+N. Le classement des I.R établi par le test de Fisher se présente comme suit: F0 > F2 > F1 > N > F2+N > F1+N (tableau 7).

3.1.5. Analyse en composantes principales (ACP)

Les paramètres agro-morphologiques (quantitatifs) collectés ont été soumis à une analyse en composantes principales afin d'examiner d'une part les relations des paramètres entre eux et les relations traitements-paramètres d'autre part.

La lecture de la matrice de corrélation (Pearson) permet de constater que le rendement en grains (Rdt) est fortement corrélé ($r^2 > 0,75$) au nombre de talles/m² et au nombre de panicule/m² (tableau 9). Une corrélation moins importante existe entre le rendement en grains, le rendement en paille et le taux de talles infertiles. L'indice de récolte (I.R) est négativement corrélé au rendement en paille ($r^2 = 0,70$).

Tableau 8 : corrélation entre les paramètres agro-morphologiques du riz.

Paramètres	H_fin	Tal/m ²	Pan/m ²	%Tal Infer	TauxStér	1000Grain	Rdt Paille	Rdt Grains	I.R
H_fin									
Tal/m ²	0,817								
Pan/m ²	0,721	0,822							
%Tal <u>Infert</u>	0,593	0,749	0,280						
<u>TauxStéril</u>	0,350	0,296	0,378	0,108					
1000Graines	-0,452	-0,388	-0,529	-0,053	-0,617				
Rdt Paille	0,816	0,711	0,822	0,360	0,325	-0,433			
Rdt Grains	0,622	0,782	0,746	0,497	0,278	-0,083	0,662		
I.R	-0,556	-0,234	-0,386	-0,049	-0,192	0,470	-0,704	0,052	

Les relations entre les traitements et les paramètres agro-morphologiques ont été mises en évidence à l'aide d'une projection des données sur un plan (figure 3). Les axes F₁ et F₂ portent 73,43 % des informations initiales de l'analyse (p < 0,0001). La fertilisation minérale a été déterminante sur la croissance en hauteur (H_fin), l'épiaison (Pan/m²) et le rendement en paille (avec r² respectivement égal à 0,70; 0,69 et 0,83).

Les traitements ayant reçu le compost F2 sont caractérisés par un fort taux d'infertilité des talles. L'apport de compost F1 contribue plus à une production de graines stériles.

Le contrôle (sans apport de compost ni de fertilisant) se distingue par un indice de récolte ($r^2 = 0,61$).

Le rendement en grains ($r^2 = 0,51$) et le nombre de talles/m² ($r^2 = 0,67$) sont plus favorisés par la présence de la fertilisation minérale.

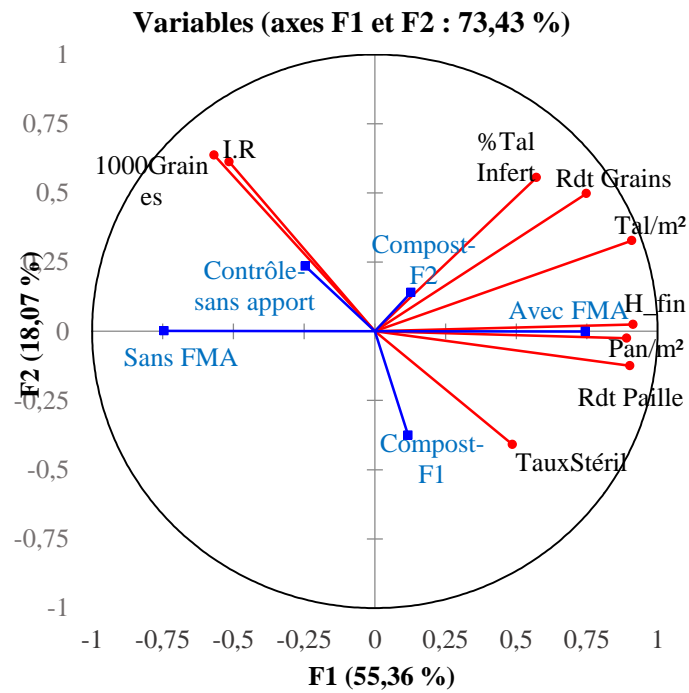


Figure 5 : analyse en composantes principales et relations traitements-paramètres agro-morphologiques.

3.2. Discussion

3.2.1. Caractérisation chimique des composts

Les composts présentent des pH légèrement alcalins. Leurs valeurs ont été de 8 (F1) et 8,3 (F2). Les rapports de C/N mesurés sur F1 (9,7) et F2 (11,3) montrent que les composts sont matures (Hirai et *al.*, 1983; Roletto et *al.*, 1985; Jarousseau et *al.*, 2016). Ils sont susceptibles d'une décomposition et d'une libération rapide de l'azote (N); ils peuvent être marqués par une forte minéralisation. L'humus produit par ces composts serait potentiellement en faible quantité ou bien ne serait disponible que dans le court terme. Les teneurs en MO et en MS sont assez satisfaisantes. Les teneurs en éléments fertilisants (N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, Mn, Na₂O, Cu, Zn, Fe) indiquent que ces composts possèdent des propriétés amendantes et fertilisantes. Ils répondent aux exigences des valeurs seuils définies par la norme NFU 44-051 (Leclerc, 2001).

Le test de Wilcoxon a montré que les deux composts ont présenté des différences significatives ($p= 0,038$). La formule 2 de compost dont la préparation est à base de matières organiques couplées à des additifs minéraux (phosphogypse et urée) est relativement plus riche que la formule 1 qui est faite de matières organiques uniquement. A part l'azote total et la MS dont les teneurs sont légèrement plus élevées sur F1, toutes les autres caractéristiques étudiées sont plus importantes sur F2. Les différences entre F1 et F2 peuvent être attribuées à la présence des additifs minéraux tels que le phosphogypse et l'urée dans la composition de F2. Abdoulaye et Phal, (2007) ont constaté une teneur en azote plus faible dans trois (3) composts constitués d'ordures ménagères additionnés d'urée comparée à un compost témoin fait d'ordures uniquement. Selon ces auteurs l'urée présente dans ces composts a dû accélérer la décomposition de la MO et par la suite a provoqué une forte volatilisation de l'azote. Ils ont également remarqué que le compost préparé avec des ordures ménagères ajouté de deux additifs minéraux, l'urée et le phosphate, est plus riche en phosphore que les composts sans phosphate et le compost témoin. Ils ont attribué ce résultat à l'ajout du phosphate. Joliet, (1994); Himanen et Hänninen, (2009); Gabhane et *al.*, (2012) et Wang et *al.*, (2017) ont montré que l'ajout d'additifs minéraux enrichit la qualité du compost.

3.2.2. Effets des traitements sur les caractéristiques du sol

Les caractéristiques initiales du sol n'ont pas connu de modifications significatives après application des traitements ($p > 0,05$). Des résultats similaires ont été obtenus par Koulibaly et *al.*, (2015). Ces auteurs ont constaté que les caractéristiques physiques et chimiques du sol ont peu évolué après les amendements en compost.

Selon Jarousseau et *al.*, (2016) les effets des amendements organiques sur les propriétés des sols s'observent en général après plusieurs années.

3.2.3. Effet des traitements sur les paramètres agro-morphologiques du riz

Les traitements en présence de la fertilisation minérale azotée ont été plus efficaces sur la hauteur finale, le nombre de talles/m², le nombre de panicule par m² et le rendement en grains. Les plantes les plus hautes (112,06 cm) et celles qui présentent le nombre de talles/m² (502,38) le plus abondant sont relevées sur le traitement associant la formule 2 de compost et la FMA (F2+N). C'est aussi sur ce traitement qu'il y a eu le taux d'infertilité le plus élevé (61,67 %). Cela signifie que près de 39 % seulement des talles ont produit des épis, le reste a été infertile. L'apport de la formule 2 de compost pourrait être à l'origine de ce fort taux d'infertilité. L'ACP a mis en évidence l'existence d'une relation positive entre le taux de talles infertiles et la F2 de compost. La formule 2 de compost combinée à la FMA a donc favorisé un bon développement végétatif du riz. Des observations similaires ont été faites par Bambara et *al.*, (2014) sur le sorgho. Ces auteurs estiment que le compost associé à la FMA agirait beaucoup plus sur la production de biomasse.

Le meilleur rendement en grains (6074,36 kg/ha) a été obtenu avec la fertilisation minérale azotée seule (N). Cette dernière possède aussi le nombre de panicules/m² le plus important (209,52). La FMA seule (urée à 46 % d'azote) a permis un relèvement significatif ($p < 0,05$) du rendement en grains par rapport au témoin; une hausse de 84 % a été observée. La FMA a été plus performante comparée aux amendements organiques seuls (F1 ou F2) ou aux amendements organiques associés à la FMA (F1+N ou F2+N). La performance de la FMA s'expliquerait par le fait qu'elle soit constituée d'éléments fertilisants directement assimilables par la culture. (Lacharme, 2001a) De plus son apport s'est fait de façon fractionnée à des périodes bien déterminées du développement du riz. Cela a influé positivement sur le rendement (Ganry, 1974).

Lorsque la FMA est associée au compost, elle semble induire la poursuite du processus de décomposition. Une prolongation, dans le temps, de la minéralisation a dû se produire. Un long processus de décomposition de la MO affecterait négativement le taux de minéralisation de l'azote total (Al-Bataina et *al.*, 2016). Le compost est caractérisé par un taux faible de libération des éléments nutritifs. Considérant l'azote, seul 1 à 3 % de l'azote total sont annuellement disponibles pour la culture. Les engrais minéraux sont, quant à eux, caractérisés par un taux élevé de libération des nutriments dans le court terme (Claassen & Carey, 2007).

Les composts ont été statistiquement moins influents sur le rendement comparés à la FMA seule. En moyenne, une différence de 2034,52 kg/ha est enregistrée. Ces résultats sont conformes à ceux de Segda et *al.*, (2013). Ces auteurs ont mentionné, dans leur étude portant sur les effets de fumures sur le rendement du paddy, que la fumure minérale est plus performante que la fumure organique.

L'application de compost seul a significativement amélioré ($p < 0,001$) la hauteur finale (105^{ème} JAS). Des écarts de 12,08 cm pour la F2 et de 10,57 cm pour la F1 par rapport au contrôle sont notés. Il a aussi résulté des apports de compost seul une production moyenne de 2983 kg/ha. Cela représente un gain de 424 kg/ha par rapport au contrôle. Koulibaly et *al.*, (2015) ont rapporté que l'apport de 2t/ha de compost a, dès la première année, permis une augmentation de 388 et 412 kg/ha du rendement en coton et maïs grains par rapport au témoin.

La formule 2 a été plus productive que la formule 1 (3061 contre 2905 kg/ha). Le compost à base de résidus organiques et d'additifs minéraux (phosphogypse et urée) s'est révélé plus efficace sur les paramètres de croissance que celui composé exclusivement de résidus organiques. Cela peut s'expliquer par des caractéristiques chimiques relativement plus riches sur F2 comparées à celles sur F1.

Même s'ils ne présentent pas de différences significatives, les effets de F2 sur le développement et le rendement en grains sont globalement plus élevés que ceux de F1. L'ajout des additifs minéraux (phosphogypse et urée) dans la préparation de F2 expliquerait ces effets plus marqués. Abdoulaye et Phal (2007); étudiant l'effet de compost sur le maïs et sur la laitue, ont indiqué que les rendements les plus élevés (8,3 t/ha pour la laitue) proviennent des parcelles avec le compost T4 (à base d'ordures ménagères et d'additifs minéraux : urée et phosphate), tandis que les rendements les plus faibles sont observés sur le témoin (3 t/ha).

Le rendement en grains le plus faible (3299,66 kg/ha) est obtenu avec le contrôle. La faible production relevée sur le témoin pourrait s'expliquer par la faible disponibilité des nutriments caractérisant les sols gris (Siband, 1989; Diatta, 1996).

Conclusion et perspectives

Cette étude a permis de montrer que la fertilisation minérale, le compost et leur combinaison peuvent améliorer positivement la productivité des sols gris de nappe.

La caractérisation chimique de deux types de compost a permis d'apprécier leurs valeurs fertilisantes et amendantes. Le C/N (< 20) a démontré que les deux composts ont été matures. Les deux types compost ont présenté des différences significatives ($p= 0,038$). Le compost à base de résidus organiques uniquement est moins riche que celui constitué de résidus organiques et d'additifs minéraux (phosphogypse et urée).

L'évaluation de l'effet des composts associés ou non à la fertilisation minérale azotée n'a pas révélé de modifications significatives des caractéristiques du sol.

Considérant l'évaluation agronomique, l'expérimentation a permis de constater que le compost associé à la fertilisation minérale a favorisé un bon développement végétatif du riz. Le meilleur rendement en grains (6074,36 kg/ha) est obtenu avec la fertilisation minérale azotée seule. Les apports de compost seul ont amélioré le rendement grains. Une augmentation de 20 (Formule 1) et 24 % (Formule 2) est observée.

Pour accroître la production de riz, une fertilisation régulière et suffisante est nécessaire. Elle peut se réaliser par les engrais azotés et/ou par les apports de matières organiques sous forme de compost.

En perspective, il serait intéressant d'évaluer la performance des composts en milieu paysan.

La mise en évidence des effets d'amendement sur le sol nécessite des essais de plus longue durée, c'est pour ces raisons qu'il serait souhaitable que cette expérience soit reconduite pour mieux appréhender l'influence des composts. Ceci permettra également d'étudier la variabilité inter-annuelle des différents traitements.

Il serait aussi intéressant de mener une évaluation économique de l'usage de compost en comparaison avec les autres pratiques paysannes d'amélioration de la fertilité du sol. Cela permettrait de mieux orienter les rizicultures sur le choix de la technique appropriée.

Références bibliographiques

- Abdoulaye S. et Phal M., 2007.** Valorisation agricole des ordures ménagères en zone soudano-sahélien : cas de la ville de Bobo Dioulasso. *Sciences et Médecines, Rev. CAMES-Série A*, Vol. 05, 64-71.
- Accolatse H. K. D., 1974.** Les systèmes de culture possibles en sol gris de Casamance (Sénégal méridional). Rapport technique, ISRA-CNRA de Bambey, 94 p.
- Achu F., Kanmi N., Katzo C., 2013.** Effects of compost and organic green manure on soil fertility and nutrient uptake in wheat-rice cropping system. *International Journal of Manures and Fertilizers* Vol. 2 (10), 407-412.
- ADRAO, 2008.** Guide pratique de la culture des Néricas de plateau 2008. Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest, Centre du riz pour l'Afrique, Cotonou, Bénin, 36 p.
- Adugna G., 2016.** A review on impact of compost on soil properties, water use and crop productivity. *Academic Research Journal Agricultural Science and Research*, 4 (3), 93–104.
- AFC, 2015.** Rapport thématique sur les filières en agriculture irriguée au Sahel. Initiative pour l'Irrigation au Sahel - Lead Analytical Consultant, Services de consultation pour la Banque Mondiale, 71 p.
- Akanza P. et Yoro G., 2003.** Effets synergiques des engrais minéraux et de la fumure de volaille dans l'amélioration de la fertilité d'un sol ferrallitique de l'ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 15 (3), 135-144.
- Akanza P. et Sanogo S., 2017.** Effets des fumures sur la fertilité, les composantes de rendement et diagnostic des carences du sol sous culture de riz sur les ferralsols en Côte d'Ivoire. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*, 043, 1–10.
- Al-Bataina B. B., Young T. M., Ranieri E., 2016.** Effects of compost age on the release of nutrients. *International Soil and Water Conservation Research* 4, 230–236
- Anonyme, 2018.** Présentation des principaux résultats de l'enquête agricole 2017-2018. Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles (DAPSA). Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural, 98 p.
- ANSD, 2015.** Situation Economique et Sociale du Sénégal. Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie. Ministère de l'économie, des finances et du plan. République du Sénégal, 325 p.

ANSD, 2017. Bulletin mensuel des statistiques économiques d'octobre 2017. Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie. Ministère de l'économie, des finances et du plan. République du Sénégal, 117 p.

Bâ C. O. et Ndecky L. K. L., 1998. Etude comparée des déterminants de l'adoption des technologies de gestion de la fertilité des rizières en Basse Casamance et dans les périmètres irrigués du Bassin de l'Anambé. In : Bocoum M. L. Rapport de synthèse Présentation des résultats de recherche collaborative sur le thème riziculture dans les régions de Basse et Moyenne Casamance, du Sénégal Oriental et de Haute Casamance à Tambacounda (SOHC) du 10 au 13 mars 1996, Tambacounda, ISRA, Sénégal, 226 p.

Babalola O. A., Adesodun J. K., Olasantan F. O., Adekunle A. F. 2012. Responses of some soil biological, chemical and physical properties to short-term compost amendment. *International Journal of Soil Science*, 7, 28–38.

Badiane A. N., Khouma M., Sène M., 2000. Gestion et transformation de la matière organique. Synthèse des travaux de recherches menés au Sénégal depuis 1945, CILSS, CTA, ISRA, Dakar, 132 p.

Bambara D., Bilgo A., Hien E., Masse D., Thiombiano A. et Hien V., 2014. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 24 148 – 171.

Bekayo D. N., 2003. L'utilisation du compost est-elle une solution pour une production agricole durable des savanes africaines? In : Jamin J. Y., Boukar L. S., Floret C., 2003. Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun. Prasac, N'Djamena, Tchad - Cirad, Montpellier, France, 3 p.

Bertrand R., Siband P., Ganry F., Guillobez S., 1978. Rice cultivation under hydromorphic conditions on the sandy grey soils of the lower slopes in Senegal. In Rice in Africa. Buddenhagen I. W., Persley G. J. *Academic Press*, 249-256.

Bilkis S., Islam M. R., Jahiruddin M., Rahaman M. M., 2017. Integrated use of manure and fertilizers increases rice yield, nutrient uptake and soil fertility in the boro-fallow-taman rice cropping pattern. *SAARC J. Agri.*, 15 (2): 147-161.

Chivenge P., Vanlauwe B., Gentile R., Wangechi H., Mugendi D., Van Kessel C., Six J., 2009. Organic and mineral input management to enhance crop productivity in Central Kenya, *Agronomy Journal*, volume 101, Issue 5, 1266-1275.

Civeira, G. 2010. Influence of municipal solid waste compost on soil properties and plant are establishment in peri-urban environments. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 70 (3), 446–453.

- Claassen, V. P., & Carey, J. L., 2007.** Comparison of slow-release nitrogen yield from organic soil amendments and chemical fertilizers and implications for regeneration of disturbed sites. *Land Degradation and Development*, 132, 119-132.
- CPCS, 1967.** Classification des sols. Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols, Grognon, France: -Laboratoire de Géologie et de Pédologie, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, 87p.
- Culot M. et Lebeau S., 1999.** Le compostage, une pratique méconnue de gestion des déchets. *Bulletin d'information AIGx* 5/1999, 11-17.
- Dagbenonbakin G., Djenontin A. J., Ahoyo Adjovi N., Igué M. A., Mensah G. A., 2013.** Production et utilisation de compost et gestion des résidus de récolte. Fiche technique. Dépôt légal N°6529 du 18/01/2013, 1er trimestre 2013, Bibliothèque Nationale du Bénin, 12 p.
- Das S., Jeong S. T., Das S., Kim J. K., 2017.** Composted cattle manure increases microbial activity and soil fertility more than composted swine manure in a submerged rice paddy. *Front. Microbiol.* 8:1702.
- Diagne L., 2004.** Riz, symboles et développement chez les Diolas de Basse Casamance. *Les Presses de l'université de Laval*, 343 p.
- Diatta S., 1996.** Les sols gris de bas de versant sur granito-gneiss en région centrale de la Côte d'Ivoire: organisation toposéquentielle et spatiale, fonctionnement hydrologique: conséquences pour la riziculture. Thèse, Université de Nancy I, 198 p.
- Diop O. et Mané N. K. T., 1998.** Inventaire des technologies basées sur la gestion des ressources naturelles et utilisées dans la production agricole en Basse Casamance. In : Bocoum ML. Rapport de synthèse Présentation des résultats de recherche collaborative sur le thème riziculture dans les régions de Basse et Moyenne Casamance, du Sénégal Oriental et de Haute Casamance à Tambacounda (SOHC) du 10 au 13 mars 1996, Tambacounda, ISRA, Sénégal, 226 p.
- Gabhane J., Prince William S. P. M., Bidyadhar R., Bhilawe P., Anand D., Vaidya A. T., Wate S. R., 2012.** Additives aided composting of green waste: Effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost. *Bioresour. Technol.*
- Ganry F., 1974.** Première contribution à l'étude de la dynamique de l'azote en sol gris de Casamance. ISRA-CNRA de Bambey. Doc. Ronéo, 12 p.
- Ganry F. et Badiane A., 1998.** La valorisation agricole des fumiers et des composts en Afrique soudano-sahélienne : Diagnostic et perspectives. *Agriculture et développement* n°18, 73-80.

- Ganry F. et Olivier R., 2005.** Valorisation agricole des fumiers et des composts en Afrique soudano-sahélienne : enjeu et contrainte. Synthèse des travaux du Cirad et de l'IRD, 7 p.
- Grist D. H., 1983.** Rice. Fifth edition, Tropical Agriculture Series, 601 p.
- Himanen M. et Hänninen K., 2009.** Effect of commercial mineral-based additives on composting and compost quality. *Waste Manage.* 29, 2265–2273.
- Hirai M., Chanyasak V. et Kubota H., 1983.** A standard measurement for compost maturity. *Biocycl.* 24 : 54–56.
- ISRA, 2012a.** Guide de production de riz pluvial, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, 36 p.
- ISRA, 2012b.** Catalogue officiel des espèces et variétés cultivées au Sénégal, 1^{ère} édition. Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, 192 p.
- IUSS Working Group WRB, 2015.** World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 193 p.
- Jarousseau H., Houot S., Paillat J. M., Saint-Macary H., 2016.** Le recyclage des résidus organiques. Regards sur une pratique agro-écologique. Editions Quæ, 264 p.
- Joliet B., 1994.** Le compostage: principes et modalités. *Fourrages* 140, 421-430
- Khouma M., Gueye M., Ganry F., Badiane A., Ndiaye J. P., Sène M., 2005.** L'environnement: les sols In Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal, ISRA, ITA, CIRAD, 534 p.
- Koulibaly B., Dakuo D., Ouattara A., Traoré O., Lompo F., Zombré P. N., et YaoKouamé A., 2015.** Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso. *TROPICULTURA*, 33, 2,125-134
- Lacharme M., 2001a.** La fertilisation minérale du riz. In Mémento Technique de Riziculture. Fascicule n°6, 17 p.
- Lacharme M., 2001b.** Le plant de riz : données morphologiques et cycle de la plante. In Mémento Technique de Riziculture. Fascicule n°2, 22 p.
- Leclerc B., 2001.** Guide des matières organiques Tome 1 (2^{ème} édition). Institut technique de l'agriculture biologique (ITAB), 238 p.
- Lompo F., Segda Z., Gnankambary Z. et Ouandaogo N., 2009.** Influence des phosphates naturels sur la qualité et la biodégradation d'un compost de pailles de maïs. *TROPICULTURA*, 27, 2, 105-109.

Martínez-Blanco J., Lazcano C., Christensen T., Muñoz P., Rieradevall J., Møller J., Antón A., Boldrin A., 2013. Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33 (4) 721-732.

Misra R. V., Roy R. N., Hiraoka H., 2005. Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole, FAO, 48 p.

Murphy J. & Riley I. P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27 : 31-6.

Niang M, Seydi B., Hathie I., 2017. Etude de la consommation des céréales de base au Sénégal, USAID, FEED THE FUTURE SENEGAL NATAAL MBEY, 128 p.

Osinski J. et Sylla F., 2018. Global Agriculture Information Network (GAIN) report. Senegal grain and feed annual. West Africa rice annual, 18 p.

Ouédraogo E., Mando A. and Zombré N. P., 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agriculture system in West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 84, 259-256.

Paul E. A. & Clark F. E., 1996. Soils microbiology & biochemistry 2nd ed., *Academy Press, California, USA*, 340 p.

PNAR, 2009. Stratégie nationale de développement de la riziculture. Ministère de l'Agriculture, République du Sénégal, 33 p.

Roletto, E., Barberis R., Consiglio M., and Jodice R., 1985. Chemical parameters for evaluating compost maturity. *BioCycle*, 26:46-47.

Sagna P., 2005. Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie Ouest de l'Afrique occidentale. Thèse de doctorat d'état lettre UCAD. Tome 1 et 2, 742 pages.

Segda Z.; Yaméogo L. P.; Gnankambarya Z.; Papaobaa S. M., 2013. Effets induits du type de fumure sur les paramètres chimiques du sol et sur le rendement paddy dans la plaine rizicole de Bagré au Burkina Faso. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*, 036 : 35 – 46.

Siband P., 1989. De la connaissance des terres et des climats à la recommandation agronomique. IRAT/CIRAD *Sol Trop.*, 283-305.

Sikuzani Y. U., Ilunga G. M., Mulembo T. M., Katombe B. N., Lwalaba J. L. W., Lukangila M. A. B., Lubobo A. K., Longanza L. B., 2014. Amélioration de la qualité des sols acides de Lubumbashi (Katanga, RD Congo) par l'application de différents niveaux de compost de fumiers de poules. *Journal of Applied Biosciences*, 77 : 6523-6533.

Strachel R., Wyszowska R., Baćmaga M., 2017. The Role of Compost in Stabilizing the Microbiological and Biochemical Properties of Zinc-Stressed Soil. *Water Air Soil Pollut*, 228:349.

Tremier A., De Guardia A., Mallard P., 2007. Indicateurs de stabilisation de la matière organique au cours du compostage et indicateurs de stabilité des composts: analyse critique et perspectives d'usage. *TSM* numéro 10, 105-129.

Wang Q., Awasthi M. K., Ren X., Zhao J., Li R., Wang Z., Chen H., Wang M., Zhang Z., 2017. Comparison of biochar, zeolite and their mixture amendment for aiding organic matter transformation and nitrogen conservation during pig manure composting, *Bioresource Technology*, 300-308.

Wopereis M. C. S., Defoer T., Idinoba P., Diack S. and Dugué M. J., 2008. Participatory Learning and Action Research (PLAR) for Integrated Rice Management (IRM) in Inland Valleys of Sub-Saharan Africa: Technical Manual. WARDA Training Series. Cotonou, Benin: Africa Rice Center, 128 p.