

Université Assane Seck de Ziguinchor



UFR Sciences et Technologies

Département d'Agroforesterie

Mémoire de Master

Spécialité : Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers
(AGDEFA)

Effets de différentes doses de fertilisation organo-minérale sur les propriétés chimiques du sol, sur la croissance et le rendement du riz (*Oryza sativa* L.) à Balmadou (Casamance-Sénégal)

Présenté par :

Marième DIENG

Sous la supervision de **Dr Saliou FALL (ISRA/LNRPV), Directeur de Recherches CAMES**

Encadreurs : **Dr Ismaïla COLY, Maître Assistant (UASZ)**

Dr Abdoulaye BADIANE, Chargé de Recherches (CRA, Djibélor/ISRA)

Soutenu publiquement le 19 février 2022 devant le jury composé de:

Président:	M. NGOR NDOUR	Maître de conférences	UFR-ST / UASZ
Membres:	M. Aly DIALLO	Maître Assistant	UFR-ST / UASZ
	M. Baboucar BAMBA	Chargé de Recherches	ISRA/CRA Djibélor
	M. Abdoulaye BADIANE	Chargé de Recherches	ISRA/CRA Djibélor
	M. Ismaïla COLY	Maître Assistant	UFR-ST / UASZ

Année Universitaire 2020-2021

Dédicaces

*Je dédie ce travail à toute ma Famille
particulièrement à mes très chers parents pour leur amour, leur
confiance, leurs conseils, leurs prières et leur soutien inconditionnel
qui m'ont permis de réaliser mes études.*

*A notre Responsable Moral Cheikh Seydi Mouhamadou Moustapha Sy
de nous avoir guidé sur le droit chemin.*

A mes frères et Sœurs;

*A ma meilleure amie, ma confidente, ma sœur Rama Diagne, qui m'a
soutenu et qui a toujours été à mes côtés. Elle qui m'a fait comprendre
que la famille n'était pas seulement les liens du sang. Puissiez-vous
trouver ici le fruit de vos efforts récompensés ;*

A tous mes frères et sœurs moustarchides ;

A mes tuteurs à Ziguinchor.

*Je vous souhaite encore une très longue vie pour nous accompagner
et nous guider sur le bon chemin.*

Merci encore une fois de plus à toutes et à tous.

REMERCIEMENTS

Je rends grâce à **Dieu**, le Tout Puissant, le Miséricordieux qui m'a donné la force, le courage, la santé et la patience d'accomplir ce travail. J'adresse mes sincères et chaleureux remerciement à :

Mes encadrants Dr Ismaïla COLY et Dr Abdoulaye BADIANE -pour avoir accepté de diriger ce travail. Qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde reconnaissance, mon immense gratitude et mon grand respect, pour leurs efforts, leurs implications, leurs confiances et leurs encouragements.

Au chef de département Dr Djibril SARR et à tous les Enseignant-chercheurs du département d'Agroforesterie : Pr Ngor NDOUR, Pr Mohamed Mahamoud CHARAHABIL, Pr Siré DIEDHIOU, Dr Antoine SAMBOU, Dr Aly DIALLO, Dr Boubacar CAMARA, Dr Joseph Saturnin DIEME, Dr Saboury NDIAYE et Dr Abdoulaye SOUMARE pour la formation de qualité.

A Dr Baboucar BAMBA pour sa contribution dans l'évaluation de ce document et pour sa disponibilité.

Au Directeur du CRA de Djibélor et tout le personnel (Chercheurs, Ouvrier, Chauffeurs, Stagiaires, Gardiens et personnel administratif) pour m'avoir accueilli chez eux et mis dans de bonnes conditions de travail.

Aux Dr Boubacar Demba BA et Dr Arfang Ousmane Kémo GOUDIABY pour leur contribution dans l'élaboration de ce mémoire, pour leur disponibilité et leur soutien.

A tous mes amis qui m'ont aidé dans l'exécution de mes activités de recherche. Mention spéciale aux stagiaires de l'ISRA notamment M. Jean Paul Owusu et Mme Baldé née Ndella Manga qui m'ont aidé dans le suivi de mon essai.

A mon technicien agronome Mr Djibril Mbaye pour sa disponibilité ses conseils et son soutien.

A toute la population de Balmadou plus particulièrement mes tuteurs pour l'accueil et l'hospitalité qu'ils m'ont réservé ainsi que tous les merveilleux moments partagés ensemble. Mes remerciements vont aussi à l'endroit de ces braves femmes de Balmadou qui chaque jour sont dans leurs casiers rizicoles assurant l'entretien des semis. Mention spéciale aussi à vous pour votre détermination et patience.

A tous mes camarades de la 9^{ème} promo-Agroforesterie avec qui j'ai passé mes plus belles années universitaires. Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail, trouver ici l'expression de ma profonde gratitude et de ma reconnaissance.

TABLE DES MATIERES

<i>Dédicaces</i>	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	v

Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l’Ouest.....	v
--	---

LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vi
Résumé	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : SYSTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4

I.1. Généralités sur le riz.....	5
I.1. 1. Origine et systématique	5
I.1. 2. Biologie du riz	5
I.1. 3. Exigences édapho-climatique du riz	5
I.2. Généralités sur le Sol.....	6
I.2. 1. Propriétés physiques du sol	6
I.2. 1.1. La texture.....	7
I.2. 1.2. La structure.....	7
I.2. 1.3. La porosité.....	7
I.2. 1.4. La densité apparente	7
I.2. 2. Propriétés chimiques	8
I.2. 3. Propriétés biologiques	8
I.3. La fertilité des sols et ses modes de gestion.....	8
I.3. 1. Concept de fertilité des sols	8
I.3. 2. Gestion de la fertilité des sols	9
I.3. 2.1. Fertilisation minérale.....	9
I.3. 2.2. Fertilisation organique.....	10
I.3. 2.3. Fertilisation organo-minérale	11

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	13
---	----

II.1. Présentation de la zone d’étude	14
---	----

II.1. 1.	Situation administrative et géographique	14
II.1. 2.	Le climat	14
II.1. 3.	Les sols	15
II.2.	Matériel	16
II.2. 1.	Matériel végétal	16
II.2. 2.	Fertilisants utilisés	16
II.3.	Méthodes utilisées	17
II.3. 1.	Dispositif expérimental.....	17
II.3. 2.	Conduite de l'essai.....	18
II.4.	Collecte des données.....	19
II.4. 1.	Prélèvement des échantillons de sol et analyse des paramètres chimiques	19
II.4. 2.	Mesures des paramètres agromorphologiques.....	20
II.5.	Traitement et analyse des données.....	23
<hr/>		
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION		24
<hr/>		
III.1.	Résultats	25
III.1. 1.	Les propriétés chimiques des sols	25
III.1. 1.1.	Effet des traitements sur quelques paramètres chimiques du sol.....	25
III.1. 1.2.	Effets des traitements sur le rendement du riz et ses composantes	26
III.1. 2.	Paramètres de croissance et rendement du riz	27
III.1. 2.1.	Effet des traitements sur les paramètres de croissance.....	27
III.1. 2.2.	Effets des traitements sur le rendement du riz et ses composantes	30
III.1.3.	Relation entre les paramètres étudiés et les traitements appliqués.....	33
III.2.	Discussion	35
III.2.1.	Effet de différentes doses de fertilisation organo-minérale sur les propriétés chimiques du sol	35
III.2.2.	Effet des différentes doses de compost et de fertilisants minéraux azotés sur les paramètres de croissance du riz	36
III.2.3.	Effet des différentes doses de compost et de fertilisation minérale azotée sur le rendement et ses composantes	37
<hr/>		
CONCLUSION		39
<hr/>		
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		41
<hr/>		

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ABGA	:	American Boer Goat Association
ACP	:	Analys of Variance Analyse en Composantes Principales
ADRAO	:	Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest
ANOVA	:	Analys of Variance (Analyse de la Variance)
FAO	:	Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)
GIEC	:	Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat
ISRA	:	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
ANSD	:	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
CIRAD	:	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CSE	:	Centre de Suivi Ecologique
DAPSA	:	Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles.
EEDD	:	Education à l'Environnement vers un Développement Durable
GOANA	:	Grande offensive agricole pour la nourriture et l'abondance
GRET	:	Groupe de recherche et d'échange technologique
IFDC	:	Centre International pour la fertilité du sol et le Développement Agricole
INERA	:	Institut National de l'Environnement et de Recherches Agricoles
IRD	:	Institut de Recherches pour le Développement
MAEF	:	Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Forêts
ONU	:	Organisation des Nations Unies
ORSTOM	:	Office de Recherche Scientifique pour les Territoires d'Outre-Mer
PAPSEN	:	Programme d'Appui au Programme National d'Investissement en Agriculture du Sénégal
pH	:	Potentiel Hydrogène
PPDC	:	Projet Pôle de Développement de la Casamance
PRACAS	:	Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise
SOLAG	:	Société Languedocienne d'Agrégats
UTM	:	Universal Transverse Mercator

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude	14
Figure 2 : Ecart pluviométrique par apport à la normale 1991-2020 à la station de Sédhiou de 1951 à 2020	15
Figure 3 : Types de sols de la commune de Djirédji	16
Figure 4 : Dispositif expérimental.....	17
Figure 5: Taux de reprise des plants de riz en fonction des traitements	28
Figure 6: Relation entre les paramètres et les traitements apportés	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Composition chimique du compost utilisé dans l'expérimentation	17
Tableau 2: Traitements obtenus à partir de la combinaison des différentes doses d'engrais minéral et de compost	18
Tableau 3 : Variation de quelques paramètres chimiques du sol en fonction des traitements	26
Tableau 4: Influence des traitements sur les métaux du sol.....	27
Tableau 5: Variation de la production foliaire des plants en fonction des traitements et du temps	29
Tableau 6: Variation de la hauteur des plants (cm) en fonction des traitements et du nombre de jours après semis.....	30
Tableau 7: Variation des composantes du rendement en fonction des traitements	31
Tableau 8: Variation des rendements grains (Kg/ha), paille (Kg/ha) et de l'indice de récolte en fonction des traitements.....	32

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Parcelle expérimentale	19
Photo 2: Echantillons de sol	20
Photo 3: Séchage de la paille (a), des panicules (b) et pesage des grains de riz (c)	23

RESUME

La variabilité climatique a exacerbé les phénomènes de dégradation de sols qui s'est traduit par une perte de terres cultivables et de rendements surtout en Moyenne Casamance où la salinité est plus importante. Ainsi, cette étude s'est fixé comme objectif de contribuer à l'amélioration de la productivité du riz en Casamance. Pour ce faire, un essai a été conduit à l'aide d'un dispositif en blocs complets randomisés ou de Fisher. Il comprend un seul facteur (dose de fertilisation organo-minérale) avec neuf traitements (T0 (0t+0kg/ha+0kg/ha urée), T1 (0t+100kg/ha+75kg/ha urée), T2 (0t+200kg/ha+150kg/ha urée), T3 (5t+0kg/ha+0kg/ha urée), T4 (5t+100kg/ha+75kg/ha urée), T5 (5t+200kg+150kg/ha urée), T6 (7,5t+0kg/ha+0kg/ha urée), T7 (7,5t+100kg/ha+75kg/ha urée), T8 (7.5t+200kg/ha+150kg/ha urée)). Les résultats ont montré que la biomasse aérienne, le rendement en grains, le nombre de talles, le nombre de panicules, le taux d'infertilité, le taux de stérilité et le poids des 1000 grains ont été influencés de manière significative par les apports de fertilisants. Ainsi, les rendements grains et pailles les plus élevés ont été notés avec le traitement T8 avec respectivement $1040,63 \pm 20,79$ kg/ha et $3793,75 \pm 38,13$ kg/ha. Concernant les propriétés chimiques du sol, seul le sodium échangeable n'a pas été influencé par les différents apports ($p=0,7235$). La capacité d'échange cationique est plus élevée avec le traitement T2 (60,59 meq/100g) et le sodium échangeable avec le traitement T1 (2,35 meq/100g). Les teneurs en carbone et en matière organique les plus importantes sont notées avec le traitement T4 avec 3,49% et 6,01% respectivement et le rapport C/N le plus élevé est noté avec le traitement T8 avec 12, 30. Ces résultats montrent que l'association compost et fertilisant minéral améliore non seulement les rendements en grains et en pailles mais aussi les propriétés chimiques du sol.

Mots clés : Fertilisant minéral, Compost ; propriétés chimiques, sol, riz, rendement,

ABSTRACT

Climatic variability has exacerbated soil degradation phenomena, resulting in a loss of arable land and yields, especially in Middle Casamance, where salinity is more important. Thus, the objective of this study was to contribute to the improvement of rice productivity in Casamance. To do this, a trial was conducted using a randomized complete block design or Fisher design. It included a single factor (organo-mineral fertilizer dose) with nine treatments (T0 (0t+0kg/ha+0kg/ha urea), T1 (0t+100kg/ha+75kg/ha urea), T2 (0t+200kg/ha+150kg/ha urea), T3 (5t+0kg/ha+0kg/ha urea) ,T4 (5t+100kg/ha+75kg/ha urea),T5 (5t+200kg+150kg/ha urea),T6 (7.5t+0kg/ha+0kg/ha urea) ,T7 (7.5t+100kg/ha+75kg/ha urea),T8 (7.5t+200kg/ha+150kg/ha urea)). The results showed that above-ground biomass, grain yield, number of tillers, number of panicles, infertility rate, sterility rate and 1000-grain weight were significantly influenced by fertilizer inputs. Thus, the highest grain and straw yields were noted with treatment T8 with 1040.63 ± 20.79 kg/ha and 3793.75 ± 38.13 kg/ha respectively. Concerning the chemical properties of the soil, only exchangeable sodium was not influenced by the different inputs ($p=0.7235$). Cation exchange capacity was higher with treatment T2 (60.59 meq/100g) and exchangeable sodium with treatment T1 (2.35meq/100g). The highest carbon and organic matter contents were noted with treatment T4 with 3.49% and 6.01% respectively and the highest C/N ratio was noted with treatment T8 with 12, 30. These results show that the combination of compost and mineral fertilizer improves not only grain and straw yields but also soil chemical properties.

Keywords: Mineral fertilizer, Compost; chemical properties, soil, rice, yield,

INTRODUCTION

Le riz occupe une place centrale dans la diète alimentaire des Sénégalais. Depuis le milieu des années 1990, il est la première céréale la plus consommée devant le mil et le maïs (Diédhiou et *al.*, 2018). Cependant, les besoins de consommation sont estimés entre 1 080 000 tonnes en riz blanc, soit une consommation moyenne annuelle d'environ 90 kg/par habitant. Ce qui correspond à une consommation moyenne journalière de près de 300 g/habitant (Del Villar et *al.*, 2019). Le Sénégal est donc l'un des plus gros consommateurs de riz en Afrique de l'Ouest (Collen et *al.* 2013). En 2020, la production de riz était de 1 156 307 tonnes sur une superficie de 315 217 hectares emblavés avec un rendement 3 668 kg/ha. Malgré l'importance de cette culture, les rendements restent faibles et la production locale ne couvre que 30% des besoins de consommation (ANSD, 2020).

Cette faiblesse des rendements relève de la combinaison de plusieurs facteurs (Mbow, 2017). Parmi ceux-ci, on peut citer les facteurs liés au déficit pluviométrique observé depuis le début des années 70 (Sarrouy, 2010), l'érosion hydrique, les maladies liées aux effets des insectes ravageurs, la salinisation des rizières, la toxicité ferreuse et donc plus particulièrement la baisse de la fertilité des sols. Cette dernière est le résultat d'une dégradation physico-chimique (érosion, acidité, salinité, toxicité, carence nutritionnelle en N, P et K) et biologique des sols soumis à une monoculture sans compensation des exportations et la faible utilisation d'intrants (Diatta et Siband, 1997). La faiblesse des rendements et la baisse de la production font partie des éléments qui concourent à l'abandon de parcelles rizicoles. En outre, en Casamance, malgré les conditions climatiques favorables, l'agriculture y est confrontée à des contraintes de production qui ne permettent pas une exploitation rationnelle et durable des potentialités existantes dans la région (Badiane, 2017).

De ce fait, en vue de sécuriser la production rizicole, l'Etat du Sénégal et ses partenaires au développement ont entrepris des actions telles que le lancement de la Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance (GOANA) en 2008, qui devrait permettre de doubler la production de riz-paddy (CSE, 2007). De plus, le Programme d'Appui au Programme National d'Investissement en Agriculture du Sénégal (PAPSEN), le Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise (PRACAS) et le Projet Pôle de Développement de la Casamance (PPDC) en 2014 ont été mis en place pour le développement du secteur agricole. Dans le cadre de la recherche, de nombreux travaux ont été menés pour montrer l'importance de l'association des fumures minérales et organiques pour augmenter le niveau de fertilité des sols permettant une bonne nutrition des cultures et par conséquent un bon rendement (Zenabou et *al.* 2014 ; Akanza et *al.* 2016 ; Somda et *al.* 2017 et Badiane et *al.* 2019).

C'est dans ce contexte que les combinaisons de différentes doses d'amendements organiques à base de compost et de fertilisant minéral ont été testées dans les parcelles rizicoles de la zone de Sédhiou plus particulièrement dans le village de Balmadou.

L'objectif global de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la productivité du riz à travers un renforcement du réservoir de Carbone dans le sol par des pratiques d'amendement organique tout en limitant l'usage d'engrais chimiques.

De manière plus spécifique, il s'agit :

- d'évaluer les effets de différentes doses de fertilisation organo-minérale sur les propriétés chimiques des sols.
- de tester en milieu paysan, les effets de différentes doses de fertilisation organo-minérale sur les paramètres agromorphologiques du riz ;

Le présent mémoire s'articule autour de trois chapitres. Le premier est consacré à la revue bibliographique, le second présente le matériel et les méthodes utilisés et le troisième présente les résultats obtenus et leur discussion.

CHAPITRE I : SYSTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Généralités sur le riz

I.1. 1. Origine et systématique

Le riz est une céréale de la famille des poacées, Il appartient au genre *Oryza* qui comprend 23 espèces, dont deux sont cultivées. Ces derniers sont *Oryza sativa* L., la plus cultivée est originaire d'Asie et *Oryza glaberrima* Steud., ou riz de Casamance, originaire d'Afrique de l'Ouest (Adanabou, 2013). *O. sativa* comporte 2 sous-espèces; l'une, *indica* (fort tallage et des grains longs et fins), l'autre, *japonica* (tallage moyen et des grains courts et arrondis) (Lacharme, 2001). Aujourd'hui, des variétés hybrides interspécifiques issus du croisement des deux espèces de riz cultivé *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima* constituent le « NERICA ». Elles héritent des qualités des deux parents (Eurêka, 2005, Ouattara, 2014).

I.1. 2. Biologie du riz

Le cycle végétatif des variétés de riz varie entre 90 et 170 jours (Tiemtore, 2001). Le cycle semi-maturité est de 97 à 115 jours pour les variétés pluviales et de 115 à 145 jours pour les variétés irriguées (INERA, 2008). Le cycle végétatif du riz varie en fonction des variétés, des conditions climatiques, des pratiques culturales. Il se compose de trois phases :

- la phase végétative : de la germination à l'initiation paniculaire. La plupart des pratiques culturales s'opèrent durant cette phase, notamment la lutte contre les mauvaises herbes (sarclage ou traitement), la fertilisation, la lutte contre les insectes et les maladies (Ouattara, 2014) ;
- la phase reproductive qui dure en général 21 à 30 jours (Sié *et al.*, 2009) ; elle comporte les stades d'initiation paniculaire, de montaison et d'épiaison. Elle est caractérisée par la naissance de la panicule, le développement des épillets et des organes reproducteurs. La phase reproductive est très sensible aux températures basses, au déficit hydrique et à la salinité qui peuvent occasionner la stérilité des organes reproducteurs des épillets, ce qui se traduit par des grains vides (ADRAO, 1995);
- Et la phase de maturité qui s'étale de la floraison à la maturité où le grain passe des stades laiteux, pâteux à la maturité définitive. Elle a également une durée relativement fixe d'environ 30 jours quelque soit la variété et la saison (Vergara, 1984). Elle est sensible aux aléas climatiques tels que les températures élevées, les vents violents et le déficit hydrique durant les 15 premiers jours qui suivent la floraison (stade pâteux).

I.1. 3. Exigences édapho-climatique du riz

Le riz est cultivé dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes pour son fruit, ou caryopse, riche en amidon (Cissé, 2011). Il est sensible aux températures extrêmes.

La température optimale requise pour une bonne végétation du riz est comprise entre 30°C et 35°C. Les besoins en eau du riz sont en fonction des stades phénologiques et des conditions édaphiques. Ils se situent entre 800 et 1000 mm d'eau en riziculture pluviale (Gue, 2001).

L'ensoleillement constitue un facteur important dans la production rizicole ; en effet, le riz est une plante de jours courts requérant un minimum de 400 heures d'ensoleillement (Memento, 2006). Les faibles intensités lumineuses retardent l'épiaison et la maturation des variétés précoces mais avancent légèrement la date de la maturation des variétés tardives (Siri, 2012). Le riz est cultivé sur plusieurs types de sol. Il est plus souvent apte sur des sols lourds dans lesquels les pertes d'eau par percolation sont faibles. Les sols contenant moins de 25 % d'argile et perméables ne sont pas recommandés pour la riziculture. En moyenne Casamance, les sols aptes à la riziculture sont alors profonds ; argileux et très peu perméables. Ces sols ont une forte capacité de rétention pendant une certaine période de l'année notamment pour les sols de bas-fonds. Ils ont aussi une capacité d'échange cationique élevée (Cissé, 2011). Par ailleurs, la culture du riz a une bonne tolérance à l'acidité avec un pH optimal de 5,5 à 6 (Koné, 2010).

I.2. Généralités sur le Sol

Le sol est la partie de la couche superficielle de l'écorce terrestre qui, grâce à sa structure meuble et sa composition physico-chimique, est en mesure d'assurer un développement normal des végétaux cultivés (Soltner, 1992). Cependant, des processus physico-chimiques et biologiques désagrègent et altèrent les roches-mères dont les minéraux sont plus ou moins transformés (Duchafour et *al.*, 2018). Simultanément, les végétaux et la faune qui se développent sur ces minéraux produisent de la matière organique fraîche (feuilles, fruits, cadavres d'animaux et excréments) qui est décomposée par divers bactéries et champignons (Brunet et *al.* 1992). Dans le sol, on retrouve une phase solide formée d'éléments minéraux et organiques, une phase liquide formée d'eau et de substances dissoutes et une phase gazeuse (Gelin et Stengel, 1998 cité par Manga, 2019).

I.2. 1. Propriétés physiques du sol

Les propriétés physiques du sol sont liées à sa texture, sa structure, sa porosité, son aération ainsi que sa densité apparente. Ces propriétés physiques sont souvent influencées par la nature des matériaux qui composent le sol et des propriétés biologiques liées à la présence de très nombreux micro-organismes mais aussi d'organismes végétaux (racines des plantes, micro-algues) et animaux (micro et mésofaune) (Gobat et *al.*, 2010).

I.2. 1.1. La texture

La texture du sol est à la base de toutes les autres propriétés. Elle traduit de manière globale la composition granulométrique de la terre fine (Gobat *et al*, 2010). Les éléments constitutifs intervenants dans la définition de la texture d'un sol sont les sables (50-2000 μm), les limons (2-50 μm) et les argiles (< 2 μm) (Gobat *et al*, 1998). La granulométrie des particules influe sur la perméabilité du sol ; sur la capacité de rétention de l'eau sous forme de vapeur ou liquide et sur la porosité. Les sols à texture sableuse ont une teneur en matières organiques et une réserve en eau très limitée ; par contre ils sont bien aéré, poreux et facile à travailler. Aussi, ceux argileux sont imperméables, mal aéré, défavorable au développement racinaire et difficile à travailler. Et la texture limoneuse caractérise les sols plus favorables à l'agriculture (Nys, 1980).

I.2. 1.2. La structure

La structure du sol fait référence à la taille, la forme et la disposition des constituants solides (minéraux et organiques) et des constituants gazeux (vides) (Lal *et al.*, 1991). Cependant, deux (2) catégories de structures sont reconnues. Il s'agit des structures continues (sans agrégats) et ceux fragmentaires (avec agrégats). Ces deux classifications contiennent chacune plusieurs sous classes. La structure grumeleuse (avec agrégats) reste la mieux conseillée en agriculture (Tamia *et al.*, 1999). Par ailleurs, ce paramètre influe sur les processus hydriques, tels que la rétention de l'eau, l'infiltration et le transfert d'éléments nutritifs, mais aussi nous renseigne sur l'aération du sol dont dépendent l'activité des micro-organismes aérobies, la respiration racinaire (Jury *et al.*, 2011). La structure peut être un indicateur de l'état de santé d'un sol (Six *et al.*, 2000).

I.2. 1.3. La porosité

La porosité du sol représente l'ensemble des espaces libres dans un volume de sol donné (Amandine, 2012). Elle est directement conditionnée par la texture et l'état structural d'un sol. La porosité contrôle la circulation des fluides et des gaz dans le sol, le transport de solutés et exerce ainsi une influence sur l'activité biologique (Millington et Quirk, 1961). Ainsi, les sols grossiers présentent des macropores tandis que les sols fins sont dominés par des micropores. Mais une porosité égale à 50% caractérise les sols bons pour l'agriculture (Briat et Job, 2017).

I.2. 1.4. La densité apparente

La densité apparente est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structure du sol. En effet, elle est liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol (Chauvel, 1977). En outre, elle permet de calculer la porosité et d'apprécier ainsi indirectement la perméabilité, la résistance à la pénétration des racines, la cohésion des horizons et la réserve

en eau du sol ((Yoro et Godo, 1990). C'est le rapport entre la masse d'un sol sec sur son volume (Fies et *al.*, 1981).

I.2. 2. Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques du sol correspondent aux teneurs et disponibilités des éléments minéraux nutritifs pour les plantes (Frisque, 2007). Ces éléments interagissent entre eux par le biais du pouvoir adsorbant, du complexe argilo-humique et du pH qui interviennent dans la nutrition des plantes (Mustin, 1987). Les ions présents dans les sols proviennent essentiellement des processus de dégradation de la roche mère et de minéralisation de la matière organique. Ils peuvent également être introduits par l'intermédiaire de fertilisants chimiques et d'amendements organiques (Locatelli, 2013). Le pouvoir adsorbant fixe les cations grâce à leurs charges électronégatives. Par ailleurs, la liaison de ces colloïdes par un pont calcique ou aluminique ou encore ferrique permet la formation du complexe argilo-humique (SOLAG, 2016). Ce dernier permet la fixation et l'échange des ions avec la solution du sol. Son importance est traduite par sa capacité d'échange cationique (CEC) qui représente la quantité maximale de cations que le sol peut fixer (Nys, 1980). Autrement dit, c'est la somme des charges négatives du sol disponible pour la fixation des ions H^+ et Al^{3+} ainsi que les cations basiques Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ . La CEC dépend donc de la nature des colloïdes présentant un nombre variable et spécifique de sites négatifs et, bien sûr, du pH du sol (Gobat *et al.* 2010).

I.2. 3. Propriétés biologiques

Les organismes du sol sont directement ou indirectement responsables de nombreuses fonctions du sol. Celles-ci incluent la décomposition des résidus animaux et végétaux avec libération des éléments nutritifs assimilables pour la plante, la transformation et le stockage des nutriments, les échanges gazeux et hydriques, la formation et la stabilisation de la structure du sol et la synthèse des composés humiques (Dick, 1997 ; Paul, 2000). La microfaune et la microflore contribuent à la fertilité biologique à travers l'aération du sol, la fixation de l'azote moléculaire par les bactéries fixatrices (*Rhizobium*), la solubilisation des minéraux insolubles (phosphates) par les champignons (mycorhizes). Les activités microbiennes influencent considérablement la fertilité chimique et physique du sol (Millogo, 2002).

I.3. La fertilité des sols et ses modes de gestion

I.3. 1. Concept de fertilité des sols

La fertilité d'un sol est déterminée en fonction de différents facteurs physiques (profondeur, perméabilité, aération, compacité), chimiques (acidité, capacité d'échanges, disponibilité en éléments nutritifs, carences et toxicités) et biologiques (Lacharme, 2001). Donc la fertilité du

sol désigne l'aptitude du sol à assurer de façon soutenue et durable la croissance des plantes et l'obtention de récoltes. Elle résulte de la combinaison de ses composantes physico-chimiques et biologiques qui déterminent l'approvisionnement des plantes en éléments nutritifs (ABGA, 2013).

On peut définir deux variantes de la fertilité d'un sol :

- La fertilité actuelle ou naturelle d'un sol, qui se mesure par le rendement obtenu dans les conditions d'exploitation actuelle ; on l'appelle encore fertilité *in situ* ;
- La fertilité acquise ou potentielle, qui se mesure par les rendements qu'il est susceptible d'assurer dans les meilleures conditions possibles d'exploitation (amendements, aménagements...) (MFAA, 2006).

I.3. 2. Gestion de la fertilité des sols

La gestion de la fertilité du sol repose sur deux principes : corriger les carences originelles du sol, et compenser les exportations liées aux récoltes (GRET et CIRAD, 2006). Les sols n'ont pas le même pouvoir d'apporter aux plantes les nutriments nécessaires à leur croissance. Pour combler les déficits des sols en éléments nutritifs nécessaires au développement de la plante, la fertilisation est pratiquée en tenant compte des caractéristiques du sol, des facteurs climatiques et hydrodynamiques (Sadio, 2007). Les pratiques de gestion de la fertilité des sols au Sénégal reposent essentiellement sur les applications des fumures minérales et de matières organiques (fumier, compost, résidus des cultures).

I.3. 2.1. Fertilisation minérale

La fertilisation minérale est l'apport d'engrais minéraux aux plantes. Les engrais minéraux sont des substances synthétiques qui apportent au sol un ou plusieurs éléments nécessaires à la nutrition de la plante. Ils permettent d'améliorer la fertilité des sols en ce sens qu'ils augmentent la quantité d'éléments nutritifs (N, P et K en général) restituables du sol à la plante (Traoré, 2012). De nombreuses études ont démontré que l'utilisation judicieuse d'engrais minéraux conduit à une augmentation des rendements (Bationo et Buerkert, 2001), à condition qu'aucun autre facteur de croissance (tel que l'eau et le rayonnement) ne soit restrictif. Aussi l'utilisation d'engrais ne permet pas seulement d'augmenter la biomasse aérienne et de rendre disponible plus de résidus de récolte. Mais elle est, potentiellement, susceptible d'augmenter la biomasse racinaire, permettant un accroissement de matière organique dans le sol (Bationo et Ntare, 2002). Cependant, certains auteurs (Bado, 2002, Bationo et *al.*, 2012) s'accordent à dire que l'utilisation exclusive de la fumure minérale pour une production continue et longue, contribue

à la destruction de certaines microflore et microfaunes du sol, à la diminution des teneurs en matière organique (MO) qui conduit à la baisse de la fertilité des sols ; à l'apparition des ions aluminium et à l'accumulation des nitrates. Ce qui acidifie le sol et participe ainsi à leur dégradation (ONU, 2006). En outre, Mills et Fey (2003) concluent que l'utilisation exclusive de la fertilisation minérale ne permet pas de maintenir la fertilité des sols à long terme. Même si la fertilisation minérale, plus pratiquée aujourd'hui en riziculture, permet d'augmenter les rendements, elle ne peut garantir à elle seule une production durable sans apport de matière organique.

I.3. 2.2. Fertilisation organique

La fertilisation organique est l'utilisation de la matière organique comme fertilisant dans la production agricole. La matière organique est considérée comme le paramètre fondamental de la fertilité du sol à court et à long terme. A long terme, elle représente un stock d'éléments chimiques (N, P, K) véritable réserve d'éléments nutritifs qui conditionne significativement la fertilité à venir. La gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de production doit donc intégrer l'utilisation de la fumure organique (Ouédraogo, 2004). Les principales formes de fertilisants organiques rencontrés dans notre milieu d'étude sont :

☞ Le fumier

Le fumier est le produit issu de la fermentation d'un mélange de pailles plus ou moins piétinées et de déjections animales, qui permet un recyclage efficace des éléments minéraux plus concentrés et plus assimilables que dans les résidus de départ (GRET et CIRAD, 2006). Il est plus souvent sous forme solide (déjections de bovins, de petits ruminants et de la volaille).

☞ Les résidus de récolte

Les résidus de récolte sont une source importante de matière organique. Convenablement gérés, ces résidus constituent un moyen de maintien de la fertilité. Selon Laboubée (2007), le retour au sol des résidus de récolte, à court terme, peut se manifester à travers différents effets dont l'amélioration de la stabilité structurale, la réduction des risques de battance, la diminution du compactage, la libération de produits toxiques pour certaines maladies, la fourniture d'azote et de potassium. A long terme, la restitution systématique des résidus de récolte va modifier l'évolution du stock d'humus du sol. En effet, l'utilisation des résidus en paillage permet d'améliorer la capacité d'infiltration de l'eau et la rétention en eau du sol, de réduire les effets attendus de l'érosion éolienne et hydrique. Elle permet aussi d'augmenter la capacité

d'échanges cationiques (CEC) du sol et d'augmenter la fourniture lente d'éléments nutritifs aux plantes (Schlecht et Buerkert, 2004). Aussi, le paillage permet un ameublissement du sol et une augmentation de sa porosité, qui permettent une meilleure infiltration de l'eau (Zombré *et al.*, 1999). Les travaux de Koulibaly *et al.* (2010) montrent que le recyclage des résidus de récolte en compost ou en fumier et leur enfouissement, augmentent les rendements des cultures.

☞ **Le compost**

Le compost provient de la fermentation de divers produits animaux et végétaux. C'est le produit de la décomposition de la matière organique avec libération d'éléments minéraux et fabrication de l'humus (IFDC-Catalist, 2010). Le compost peut être utilisé comme engrais lors des cultures ou avant labour comme fumure de fond. Selon Charnay (2005), l'amendement organique favorise :

- **l'amélioration** et la stabilité structurale du sol. En effet, parmi les différents éléments minéraux présents dans le sol, les argiles s'associent à la matière organique du sol (l'humus) et aux micro-organismes pour former, sous l'action stabilisatrice du calcium, le complexe argilo-humique. Selon Annabi (2005), le compost améliore la stabilité des agrégats et atténue la vitesse de fermeture de la surface du sol sous des pluies de faible intensité ;
- **l'influence sur la chimie du sol**. Les substances basiques du compost et les substances humiques sont bénéfiques contre l'acidification du sol et le stabilisent chimiquement. Permet aussi un développement de la végétation et la revitalisation des sols fortement dégradés ;
- **l'effet phytosanitaire** qui montre le caractère fongicide du compost. Le compost contient ainsi des substances qui augmentent la résistance des végétaux vis à vis de certains pathogènes. Par ailleurs un sol enrichi en compost peut réduire la concurrence des adventices, de même que les maladies Cotxerrera *et al.* (2002).

I.3. 2.3. Fertilisation organo-minérale

La matière organique ou engrais organique se décompose en substances nutritives avant de pouvoir être absorbé par la plante ; alors que les engrais minéraux favorisent une disponibilité immédiate des éléments nutritifs Hinvu *et al.* (2012). En d'autres termes les engrais chimiques agissent immédiatement (en quelques jours ou quelques semaines) sur la fertilité du sol, tandis que la matière organique n'a qu'un effet à long terme. Au regard des limites des engrais chimiques et de la fumure organique, il semble mieux de procéder à leur combinaison pour accroître durablement la production agricole. Cependant, les travaux de recherche sur la gestion

de la fertilité de MAEF (2011) ont permis de définir des méthodes de fertilisation organo-minérale qui assurent la durabilité des systèmes de cultures. Toutefois, de telles méthodes restent très peu appliquées au niveau des paysans à cause des contraintes liées à la production et à l'épandage des matières organiques. La non-disponibilité de matières organiques de qualité demeure donc une contrainte majeure de l'enrichissement des terres notamment rizicoles (Cissé, 2013).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Présentation de la zone d'étude

II.1.1. Situation administrative et géographique

Le site expérimental de l'étude est localité dans le village de Balmadou situé entre $12^{\circ}37'30.86''$ de latitude Nord et $15^{\circ}51'39.43''$ de longitude Ouest. Ce village appartient à la commune de Djirédji, à l'arrondissement du même nom, au département et la région de Sédhiou. La commune de Djirédji s'étend sur une superficie de 390 km². Elle est limitée au Nord par la commune de Sansamba, au Sud par le fleuve Casamance, à l'Est par la commune de Bambali et à l'Ouest par le marigot de Francounda qui le sépare de la commune de Bémet Bidjini (Figure 1).

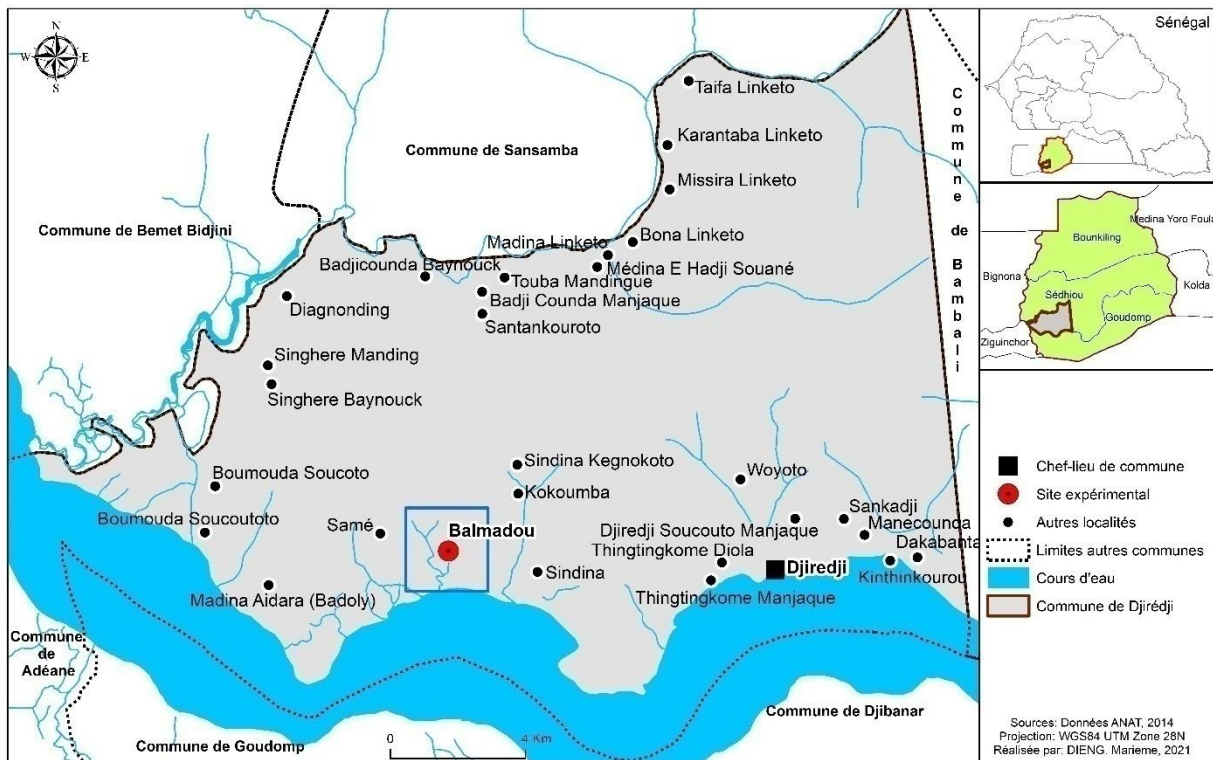


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude

II.1.2. Le climat

La moyenne Casamance se trouve dans le domaine climatique sud-soudanien continental (Sané, 2019). Elle est une des zones les plus pluvieuses du pays avec des pics moyens de plus de 1 300 mm par an (PAPSEN, 2015). La zone est caractérisée par l'alternance des deux saisons : une saison pluvieuse généralement de juin à octobre pendant laquelle se pratique la riziculture et une saison sèche beaucoup plus longue de novembre à mai.

L'analyse de l'évolution de la pluviométrie par rapport à la normale 1991-2020 (1145,5mm) au cours de la période 1951-2020 permet de voir la variation interannuelle de la pluie à la station de Sédhiou. Il apparaît ainsi trois phases. La première allant de 1951 à 1967 est globalement

excédentaire. La deuxième phase va de 1968 à 2002 est caractérisée par une succession d'années excédentaires et déficitaires avec toutefois une prédominance des années déficitaires. Et enfin la troisième phase allant de 2003 à 2020 marquée par une succession d'années excédentaires et déficitaires avec une prédominance des années excédentaires. L'année 2020 qui correspond à la mise en place de notre essaie a connu un excédent pluviométrique de 35.4% soit 1551mm (Figure 2). Cette variabilité de la pluviométrie a des impacts sur les activités agricoles.

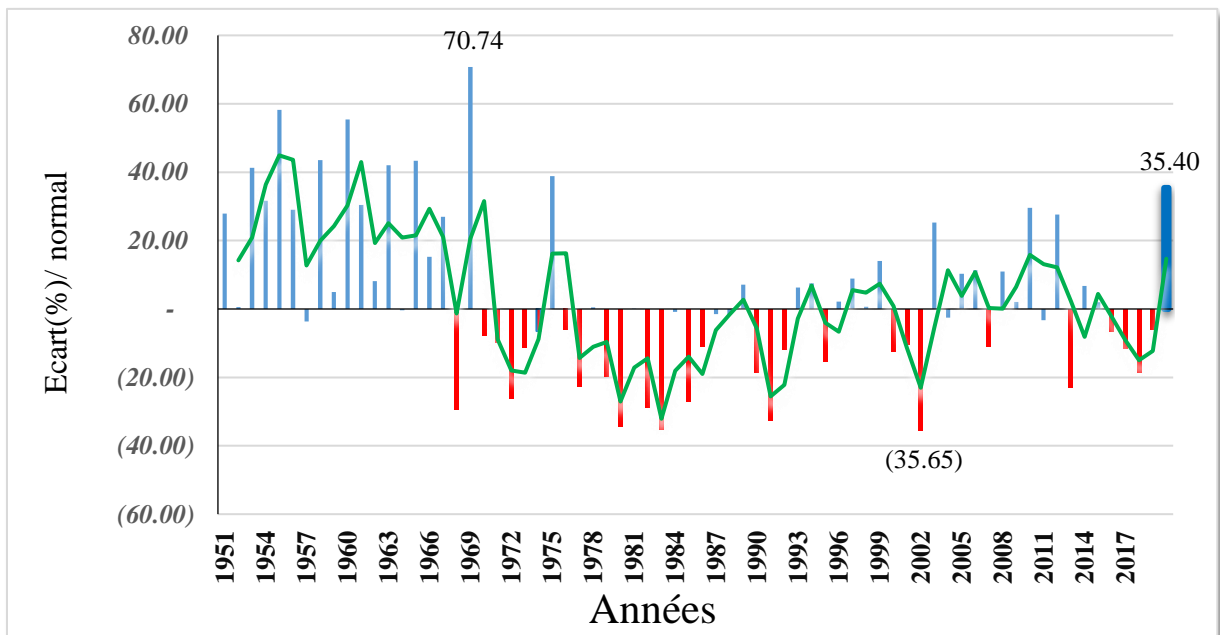


Figure 2 : Ecart pluviométrique par apport à la normale 1991-2020 à la station de Sédhiou de 1951 à 2020

Les températures sont relativement élevées allant de 25°C à 33°C en saison des pluies et de 24°C à 40°C en saison sèche (Sané, 2019). L'harmattan est le type de vent qui y souffle en saison sèche.

II.1. 3. Les sols

La commune de Djirédji comporte selon les données réactualisées de l'IRD ex ORSTOM de 1986, six grandes unités pédologiques. Il s'agit notamment des sols minéraux bruts, les sols peu évolués, les sols ferrugineux tropicaux, les sols ferrallitiques, les sols hydromorphes et les sols halomorphes (Figure 3).

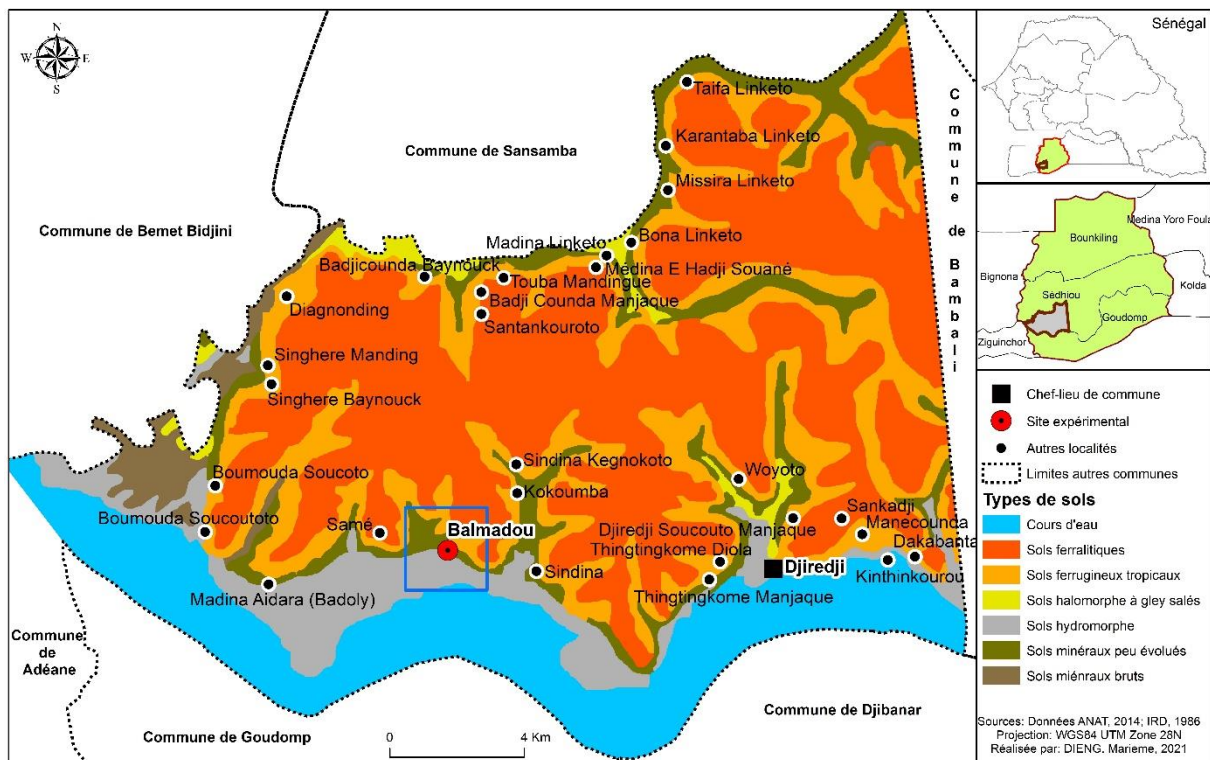


Figure 3 : Types de sols de la commune de Djirédji

Au regard des caractéristiques pédologiques de la commune de Djirédji, il ressort du point de vue spatiale que le village de Balmadou ou encore la vallée repose sur :

- **Les sols minéraux peu évolués** : Ils ont un niveau très bas de matière organique, une fertilité faible. Ces sols sont sensibles à l'érosion éolienne et hydrique, ont une texture sableuse et très perméables ($k=250$ cm/h).
- **Les sols hydromorphes** : ils sont typiques des bas-fonds et/ou des plaines de la zone de transition entre le plateau et la mangrove. Ces sols sont sujets à des symptômes d'acidité liée aux ions ferreux (Fe^{2+}) dû aux milieux anoxique par la submersion des eaux. Ils sont sableux à argilo-sableux par endroit suivant les étages et sont caractérisés par une faible teneur en matières organiques (- de 0,5 à 1%).

II.2. Matériel

II.2. 1. Matériel végétal

La variété utilisée au cours de l'expérience est le NERICA L19, qui est une des variétés de riz de bas-fonds pluvial la plus populaire. Cette variété tolère la toxicité ferreuse, la sécheresse, et a des rendements allant jusqu'à de 5t/ha (AfricaRice, 2020). (Cycle de la variété)

II.2. 2. Fertilisants utilisés

Deux fertilisants ont été utilisés dans le cadre de cette étude. Il s'agit :

- de l'engrais minéral 15N-15P-15K et de l'urée à 46N-0P-0K ;
- et du compost provenant de la station du Centre de Recherches Agricoles (ISRA) de Djibélor. Les caractéristiques de la formule du compost F1 utilisé sont décrites par Badiane *et al.*, (2019) et sa composition chimique est présentée dans le tableau 1

Tableau 1: Composition chimique du compost utilisé dans l'expérimentation

Variables	C (%)	N (%)	C/N	MO (%)	Pass (ppm)	Na ⁺ meq/100g	K ⁺ meq/100g	Mg ²⁺ meq/100g	Ca ²⁺ meq/100g	Cu ²⁺ ppm	Fe ²⁺ ppm	Mn ²⁺ ppm	Zn ²⁺ ppm
Compost F1	3,721	2,297	1,62	6,401	0,201	10,14	20,557	43,711	60,052	0,024	10,51	1,719	0,105

La composition chimique du compost montre un rapport C/N inférieur à 15. Ce qui permet une libération importante d'azote bénéfique à la croissance de la plante. La présence des oligoéléments permet également à la plante d'assurer son développement en puisant la quantité nécessaire d'éléments pour ses activités métaboliques.

II.3. Méthodes utilisées

II.3. 1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est celui de Fisher ou en blocs complets randomisés. Le facteur étudié est la dose de fertilisation organo-minérale avec neuf (9) traitements et quatre (4) répétitions. Le dispositif a 35 m de longueur et 18 m de largeur, la distance entre les blocs est de 2 m, et celle entre les parcelles élémentaires de 1m. Chaque parcelle élémentaire a une surface de 9m² avec 225 poquets (Figure 4).

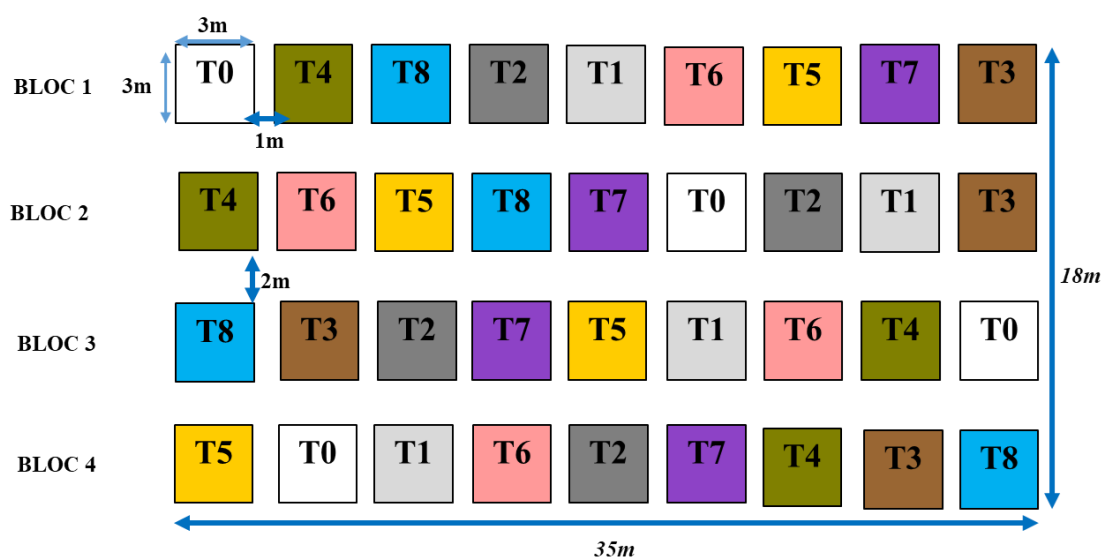


Figure 4 : Dispositif expérimental

Les différents traitements sont obtenus à partir de la combinaison de trois doses de compost (0 ; 5 et 7,5 t/ha) avec trois doses de fertilisant minéral (0% ; 50% ; 100% de la dose recommandée de fertilisation minérale sur le riz) (tableau2).

Tableau 2: Traitements obtenus à partir de la combinaison des différentes doses d'engrais minéral et de compost

Traitements	Compost	Engrais de fond	Engrais de couverture	Combinaison
	(t/ha)	(Kg/ha)	(Kg/ha)	
	C1	NPK (15-15-15)	Urée 46%N	
T0	0t	0	0	0t+0kg/ha+0kg/ha urée
T1	0t	100	75	0t+100kg/ha+75kg/ha urée
T2	0t	200	150	0t+200kg/ha+150kg/ha urée
T3	5t	0	0	5t+0kg/ha+0kg/ha urée
T4	5t	100	75	5t+100kg/ha+75kg/ha urée
T5	5t	200	150	5t+200kg+150kg/ha urée
T6	7,5t	0	0	7,5t+0kg/ha+0kg/ha urée
T7	7,5t	100	75	7,5t+100kg/ha+75kg/ha urée
T8	7,5t	200	150	7.5t+200kg/ha+150kg/ha urée

II.3. 2. Conduite de l'essai

L'essai a été mis en place durant la campagne hivernale 2020-2021. Les travaux ont débuté le 26/08/2020 et ont consisté à la préparation du site par un labour à plat et à l'installation des diguettes de 60 à 70 cm de haut à l'aide d'un « kadiadou ». Ces diguettes autour des parcelles servent à éviter la contamination entre les parcelles élémentaires. Le repiquage du riz obtenu à partir des pépinières de 21 jours a été effectué le 01/09/2020 avec deux (2) plants par poquet. Le compost ainsi que le fertilisant minéral ont été épandus le 05/09/2020 soit cinq (5) jours après repiquage. La fertilisation minérale a été appliquée avec la dose recommandée en Casamance qui est de 200Kg/ha 15N-15P-15K +150 kg/ha d'urée (46N-0P-0K). L'urée est apportée en deux fractions. Une première fraction est apportée au tallage avec une quantité de 100 kg/ha soit 90g/9m² et la seconde à l'initiation paniculaire avec 50 kg/ha soit 45g/9m². Des désherbages manuels ont été effectués au besoin pour maintenir les plants en situation de non-compétition avec les adventices. De même, une clôture a été construite afin de contenir la divagation des animaux.



Photo 1: Parcelle expérimentale

II.4. Collecte des données

II.4. 1. Prélèvement des échantillons de sol et analyse des paramètres chimiques

Des échantillons de sol ont été prélevés avant l'application des traitements et à la fin de l'essai. La collecte a été effectuée à une profondeur 0-20 cm de chaque parcelle élémentaire. Les échantillons ont été d'abord broyés puis tamisés et mis dans des sachets et amenés au laboratoire de Saint-Louis pour l'analyse chimique. Cette analyse a porté sur la teneur en carbone (C%), en azote total (N%), en matière organique, en phosphore assimilable, en bases échangeables (ions Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+), en métaux lourds (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+}), le rapport C/N et la capacité d'échange cationique (CEC).



Crédit photo : Dieng 2020

Photo 2: Echantillons de sol

II.4. 2. Mesures des paramètres agromorphologiques

-Paramètres morphologiques

○ Taux de reprise

Le taux de reprise des plants (TRP) a été évalué en dénombrant les plants qui ont survécus 15 jours après repiquage dans les parcelles élémentaires. Ce taux a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{TRP (\%)} = \frac{\text{NPS}}{\text{NPT}} * 100$$

Avec NPS= nombre de plants qui ont survécu ; NPT= sur le nombre total de plants

○ Nombre de feuilles

La production foliaire a été évaluée par le dénombrement des feuilles des plants sur 6 pieds pris dans chaque parcelle utile tous les 15 jours après repiquage.

○ Hauteur des plants

La hauteur des plants a été mesurée sur 6 pieds pris dans chaque parcelle utile tous les 15 jours après repiquage.

- **Nombre de talles produites**

Il a été évalué par un dénombrement des talles produites sur 6 plants pris au hasard dans le carré de rendement à 60 jours après semis. Le nombre de talles par m² est obtenu par le rapport du nombre total de talles par poquet sur la surface occupée par un poquet.

-Paramètres agronomiques mesurés et calculés

- **Nombre de panicules**

Il a été évalué par un dénombrement des panicules produites sur 6 plants pris au hasard dans le carré de rendement à 60 jours avant la récolte. Le nombre de panicules par m² est obtenu par le rapport du nombre total de panicules produits par poquet sur la surface occupée par un poquet.

- **Taux d'infertilité des talles**

Le taux d'infertilité a été évalué par comptage des talles et panicules dans chaque carré de rendement. Ce qui a permis de déterminer le nombre de talles total au mètre carré NTT et le nombre de panicules au mètre carré (NP).

Le taux d'infertilité a été calculé selon de la formule suivante :

$$TIN = \frac{(NTT-NP)}{NTT} * 100 (\%)$$

Avec NTT= nombre total de talles ;

NP= nombre de panicules.

- **Taux de stérilité**

Le taux de stérilité (TS) des graines a été calculé après la récolte en choisissant au hasard sur chaque parcelle élémentaire 6 panicules dans le carré de rendement. Le nombre d'épillets total (NET) et le nombre d'épillets vides (NEV) par traitement et par mètres carré ont été comptés afin de déterminer ce taux par la formule ci-après :

$$TS = \frac{NEV}{NET} * 100 (\%)$$

- **Biomasse aérienne**

La biomasse de la paille a été déterminée. Pour ce faire, la masse fraîche des feuilles et panicules ont été obtenus en pesant les tiges et les panicules justes après récolte. Après séchage des tiges et panicules à l'air libre pendant 15 jours, leur poids sec a été mesuré à l'aide d'un peson.

- **Rendements grains et paille**

Le poids des grains et de la paille ont été évalués après égrainage des panicules. Le poids des grains et de la paille (feuilles et panicules égrainées) obtenus dans chaque parcelle utile ont été déterminés à l'aide du peson.

Les pesées des grains et de la paille produits par parcelle utile ont permis de calculer le rendement grains en kg à hectare (RDTG) et le rendement paille (RDTP) en kg/ha.

$$\text{RDTG} = \frac{\text{POIDS GRAIN}}{\text{SURFACE PARCELLE UTILE}} * 10000 \quad \text{Ou} \quad \text{RDTP} = \frac{\text{POIDS PAILLE}}{\text{SURFACE PARCELLE UTILE}} * 10000$$

- **Poids des 1000 grains**

Le poids des 1000 grains a été obtenu après un comptage et pesé des quatre (4) échantillons à l'aide d'une balance électronique (Photo 3).

- **L'indice de récolte**

L'indice de récolte (IR) a été calculé suivant la formule ci-après :

$$IR = \frac{\text{RDTG}}{(\text{RDTG} + \text{RDTP})}$$

Avec RDTG = rendement total en grains ;

RDTP = rendement total en paille.

Ce pendant l'IR est compris entre 0 et 1.

Si IR inférieur à 0,5 cela signifie qu'il a plus de production paille que de graine.

Si IR supérieur à 0,5 cela signifie qu'il a plus de production de graine que de paille.

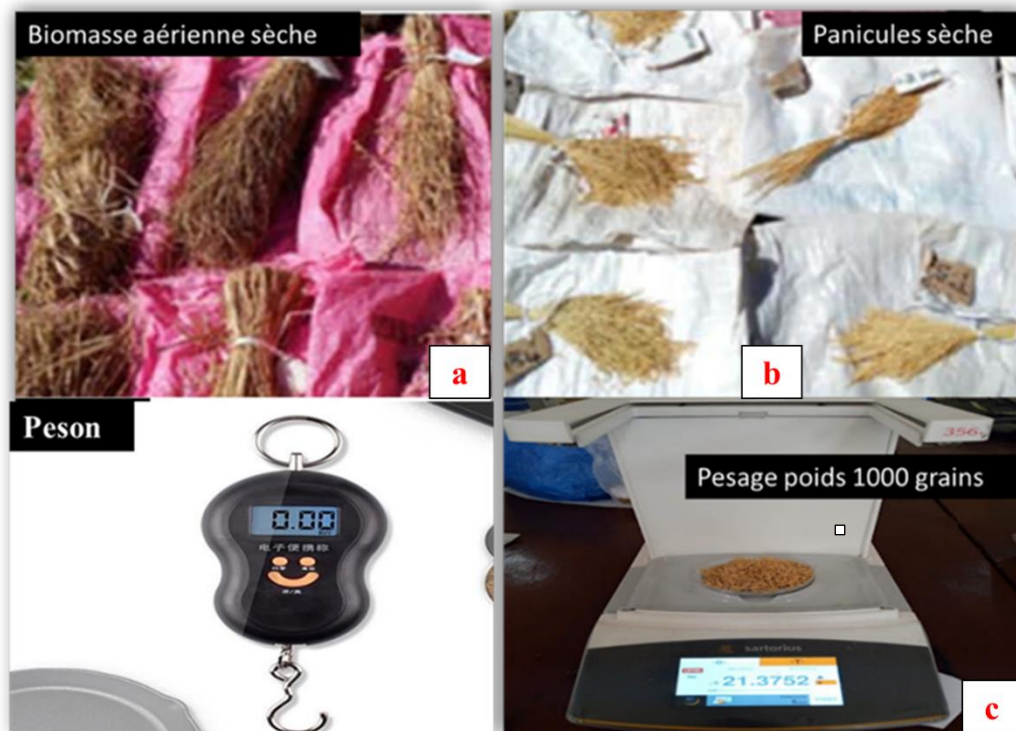


Photo 3: séchage de la paille (a), des panicules (b) et pesage des grains de riz (c)

II.5. Traitement et analyse des données

L'ensemble des données collectées a été saisi à l'aide du tableur Excel. Une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée à l'aide du logiciel XLSTAT 5.03 version 2014. Le test de Fisher a été utilisé pour la comparaison des moyennes pour établir la significativité des différences entre les traitements au seuil de 5%. Une analyse en composantes principales (ACP) a été aussi effectuée en vue d'établir une relation entre les traitements testés et les paramètres agro morphologiques du riz et les propriétés chimiques du sol. Le logiciel ArcGIS a été utilisé pour établir la cartographie de la zone d'étude.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Résultats

III.1. 1. Les propriétés chimiques des sols

III.1. 1.1. Effet des traitements sur quelques paramètres chimiques du sol

Les résultats de l'analyse de variance ont révélé un effet très hautement significatif ($p = 0,0001$) des traitements sur la teneur en carbone (C), en matière organique (MO), en potassium (K) et sur la capacité d'échange cationique (CEC) du sol (Tableau 6). Cet effet est non significatif sur la teneur en sodium échangeable (Na^+) du sol et significatif pour les autres paramètres. Exceptés les traitements T7 et T8, tous les autres traitements ont induit un effet significatif sur le taux de carbone et de matière organique du sol entre l'état initiale et après essai. Et les taux de carbone et de matière organique les plus élevés sont notés avec le traitement T4 avec 3,4990% et 6,0183% respectivement (Tableau 3).

Concernant le taux d'azote du sol, seuls les traitements T0 (0,3280%), T1 (0,3357%), T2 (0,3283 %) et T5 (0,3573%) ont permis d'enregistrer un taux d'azote statistiquement plus élevé que celui de l'état avant essai T0_i (0,2837%). Et le taux d'azote le plus important est observé avec le traitement T5 (Tableau 3).

Pour le taux de potassium (K^+), l'analyse statistique a montré qu'excepté les traitements T7 et T8, tous les traitements ont induit une augmentation significative du taux de potassium (K^+) du sol comparé à la situation avant essai (T0_i). Le taux de potassium le plus élevé est observé avec le traitement T0 (0,7870meq/100g).

Considérant la capacité d'échange cationique (CEC), tous les traitements induisent une augmentation significative de celle-ci comparée à celle de l'état avant essai T0_i (25,8065meq/100g de sol). La capacité d'échange cationique la plus élevée est noté avec le traitement T2 (60,5967meq/100g).

Les teneurs en phosphore (P), sodium (Na^+), calcium (Ca^{2+}) et le rapport C/N, n'ont montré aucune variation significative après application des différents traitements.

Toutefois les différents traitements appliqués ont permis d'augmenter significativement le taux de calcium (Ca^{2+}) comparé à la situation initiale (T0_i). (Tableau 3).

Tableau 3 : Variation de quelques paramètres chimiques du sol en fonction des traitements

Traitements	Paramètres chimiques du sol								
	C	N	MO	C/N	P _{ass}	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	CEC
	(%)				Ppm	(meq/100g)			
T0 _i =Avant l'essai	3,2563 ^c	0,2837 ^{cd}	5,6008 ^c	11,4825 ^{ab}	91,4387 ^{ab}	1,0600 ^a	0,1458 ^g	0,4555 ^b	25,8065 ^e
T0 = 0t+0kg/ha+0kg/ha urée	3,4170 ^b	0,3280 ^{ab}	5,8773 ^b	10,5107 ^{bc}	86,5960 ^{ab}	1,8230 ^a	0,7870 ^a	0,9247 ^a	49,7220 ^{bcd}
T1= 0t+100kg/ha+75kg/ha urée	3,4373 ^{ab}	0,3357 ^{ab}	5,9127 ^{ab}	10,2493 ^{bc}	95,3843 ^{ab}	2,3507 ^a	0,6430 ^b	1,1317 ^a	48,2153 ^{bcd}
T2= 0t+200kg/ha+150kg/ha urée	3,4670 ^{ab}	0,3283 ^{ab}	5,9630 ^{ab}	10,6033 ^{bc}	93,5450 ^{ab}	1,7290 ^a	0,4543 ^c	0,9350 ^a	60,5967 ^a
T3=5t+0kg/ha+0kg/ha urée	3,4007 ^b	0,3160 ^{abc}	5,8497 ^b	10,8857 ^{abc}	89,5157 ^{ab}	2,2943 ^a	0,4300 ^{cd}	1,3287 ^a	44,6120 ^{cd}
T4 = 5t+100kg/ha+75kg/ha urée	3,4990 ^a	0,3037 ^{bcd}	6,0183 ^a	11,5377 ^{ab}	72,9323 ^b	1,4280 ^a	0,3253 ^{def}	0,9810 ^a	42,3193 ^d
T5=5t+200kg+150kg/ha urée	3,4213 ^b	0,3573 ^a	5,8850 ^b	9,7190 ^c	105,2817 ^a	1,6870 ^a	0,3603 ^{cde}	0,9613 ^a	56,6660 ^{ab}
T6 =7,5t+0kg/kg+0kg/ha urée	3,4580 ^{ab}	0,3237 ^{abc}	5,9480 ^{ab}	10,7007 ^{bc}	87,5887 ^{ab}	1,5360 ^a	0,3133 ^{def}	0,9637 ^a	43,5640 ^{cd}
T7=7,5t+100kg/ha+75kg/ha urée	3,3083 ^c	0,2977 ^{bcd}	5,6907 ^c	11,1250 ^{abc}	97,4860 ^{ab}	2,0843 ^a	0,2380 ^{efg}	0,9793 ^a	42,2540 ^d
T8=7.5t+200kg/ha+150kg/ha urée	3,2677 ^c	0,2657 ^d	5,6197 ^c	12,3070 ^a	83,2967 ^{ab}	2,1070 ^a	0,2153 ^{fg}	0,9617 ^a	52,6047 ^{abc}
Moyenne générale	3,3933	0,314	5,8365	10,9121	90,3065	1,8099	0,3913	0,9623	46,6361
R²	0,8463	0,5972	0,8474	0,4878	0,3137	0,2325	0,9062	0,5096	0,8134
F	12,2338	3,2953	12,3375	2,1166	1,0157	0,6733	21,4657	2,3088	9,6874
Pr > F	< 0,0001 ^{***}	0,0126 [*]	< 0,0001 ^{***}	0,0362 [*]	0,0157 [*]	0,7235 ^{ns}	< 0,0001 ^{***}	0,0306 [*]	< 0,0001 ^{***}

ns = non significatif au seuil de 5% ; * = significatif au seuil de 5% ; ** = hautement significatif au seuil de 5% ; *** = très hautement significatif au seuil de 5%

III.1. 1.2. Effets des traitements sur le rendement du riz et ses composantes

Il est apparu un effet significatif des traitements sur le taux des métaux du sol étudié. Seuls les traitements T4 à T8 ont induit une augmentation significative du taux de cuivre (Cu^{2+}) dans le sol comparé à la situation avant essai T0_i (0,0085 ppm).

Excepté les traitements T6 à T8, tous les traitements ont induit une augmentation significative de la teneur en fer (Fe^{2+}) comparée à la situation initiale 0,1138 ppm.

Concernant les teneurs en manganèse (Mn^{2+}) et en zinc (Zn^{2+}) du sol, elles ont diminué significativement avec tous les traitements comparativement à la situation initiale (Tableau 4).

Tableau 4: Influence des traitements sur les métaux du sol

Traitements	Cu^{2+}	Fe^{2+}	Mn^{2+}	Zn^{2+}
	(ppm)			
T0_i =Avant l'essai	0,0085 ^{de} ±0.01	0,1138 ^d ±0.06	0,9288 ^a ±0.07	0,0463 ^a ±0
T0 = 0t+0kg/ha+0kg/ha urée	0,0000 ^e ±0	0,2887 ^a ±0	0,1903 ^b ±0.02	0,0270 ^b ±0
T1 = 0t+100kg/ha+75kg/ha urée	0,0000 ^e ±0	0,2670 ^{ab} ±0.05	0,2127 ^b ±0.01	0,0077 ^c ±0
T2 = 0t+200kg/ha+150kg/ha urée	0,0107 ^{de} ±0	0,2793 ^a ±0.03	0,1703 ^{bc} ±0.03	0,0023 ^c ±0
T3 =5t+0kg/ha+0kg/ha urée	0,0097 ^{de} ±0	0,2870 ^a ±0.04	0,1267 ^{bcd} ±0.04	0,0000 ^c ±0
T4 = 5t+100kg/ha+75kg/ha urée	0,0300 ^{bc} ±0	0,2783 ^a ±0.03	0,0837 ^{cd} ±0.06	0,0033 ^c ±0
T5 =5t+200kg+150kg/ha urée	0,0473 ^a ±0	0,1943 ^{bc} ±0.05	0,0820 ^d ±0.04	0,0090 ^c ±0
T6 =7,5t+0kg/kg+0kg/ha urée	0,0497 ^a ±0.02	0,1697 ^{cd} ±0.04	0,0803 ^d ±0.03	0,0133 ^c ±0
T7 =7,5t+100kg/ha+75kg/ha urée	0,0407 ^{ab} ±0.01	0,1393 ^{cd} ±0.03	0,0783 ^d ±0.03	0,0030 ^{bc} ±0
T8 =7.5t+200kg/ha+150kg/ha urée	0,0223 ^{cd} ±0	0,1547 ^{cd} ±0.04	0,0980 ^{cd} ±0.03	0,0037 ^c ±0
Moyenne générale ± écartype	0,0219±0.01	0,2172±0.1	0,2051±0.03	0,0116±0
R²	0,8398	0,7572	0,972	0,7461
F	11,654	6,929	77,047	6,530
Pr > F	< 0,0001***	0,0002***	< 0,0001***	0,0002***

***= très hautement significatif au seuil de 5%

III.1. 2. Paramètres de croissance et rendement du riz

III.1. 2.1. Effet des traitements sur les paramètres de croissance

✓ Taux de reprise des plants

Les résultats ont montré qu'il n'y a eu aucun effet significatif ($\text{Pr}=0,7453$) des traitements sur le taux de reprise des plants (figure 5). Toutefois, aucune mortalité n'est enregistrée pour le traitement T1 contrairement au traitement T7 où il a été observé le taux de mortalité le plus élevé (10,44%) (Figure 5).

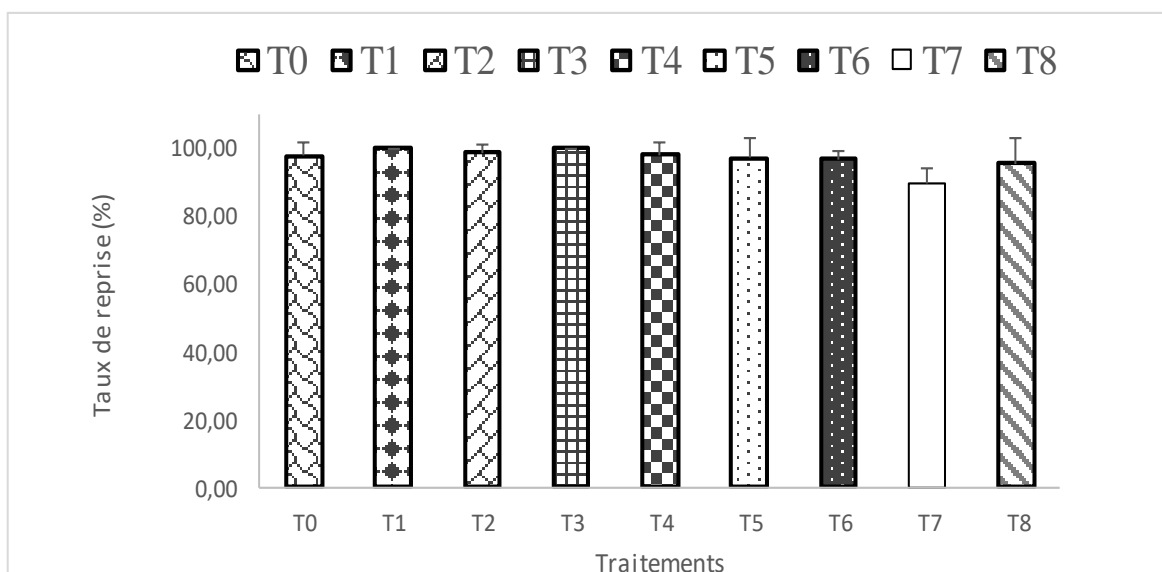


Figure 6: Taux de reprise des plants de riz en fonction des traitements

✓ **Nombre de feuilles produites**

Il y a eu un effet très hautement significatif ($p < 0,0001$) des traitements sur la production foliaire du riz quelle que soit la date de mesure. Le nombre de feuilles produites le plus élevé a été obtenu avec le traitement T8 avec $29 \pm 1,44$; $44 \pm 1,60$; $53 \pm 1,23$; $51 \pm 0,92$ et $49 \pm 0,61$ feuilles/plant respectivement au 15^{ème}, 30^{ème}, 45^{ème}, 60^{ème} et 75^{ème} JAR. Globalement, la production foliaire a augmenté linéairement du 15^{ème} au 75^{ème} JAR (Tableau 5).

Tableau 5: Variation de la production foliaire des plants en fonction des traitements et du temps

Traitements	Nombre de jours après repiquage				
	15 JAR	30 JAR	45 JAR	60 JAR	75 JAR
T0 = 0t+0kg/ha+0kg/ha urée	8 ± 0,16 ^d	12±0,69 ^f	16±0,47 ^f	18±0,32 ^e	20±0,44 ^d
T1= 0t+100kg/ha+75kg/ha urée	11 ±0,54 ^{cd}	17±0,77 ^{ef}	23±1,00 ^{ef}	25±0,67 ^d	28±0,61 ^c
T2= 0t+200kg/ha+150kg/ha urée	15 ± 0,74 ^c	23±1,16 ^{cde}	29±0,80 ^{de}	33±0,95 ^c	38±0,76 ^b
T3=5t+0kg/ha+0kg/ha urée	12 ±0,32 ^{cd}	19±0,54 ^{def}	25±0,72 ^e	26±0,63 ^d	28±0,90 ^c
T4 = 5t+100kg/ha+75kg/ha urée	16 ±0,80 ^{bc}	27±0,68 ^{bcd}	34±0,81 ^{cd}	39±0,75 ^{bc}	41±0,60 ^b
T5=5t+200kg+150kg/ha urée	22 ± 0,80 ^b	35±0,68 ^b	46±0,82 ^{ab}	49±0,76 ^a	49±0,55 ^a
T6 =7,5t+0kg/kg+0kg/ha urée	14 ± 0,75 ^{cd}	22±0,99 ^{cde}	29±0,94 ^{de}	33±0,70 ^c	35±0,82 ^b
T7=7,5t+100kg/ha+75kg/ha urée	17±0,77 ^{bc}	29±1,30 ^{bc}	39±1,56 ^{bc}	40±0,95 ^b	40±0,72 ^b
T8=7.5t+200kg/ha+150kg/ha urée	29 ±1,44 ^a	44±1,60 ^a	53±1,23 ^a	53±0,92 ^a	53±0,61 ^a
Moyenne générale ± écartype	16,37±1,93	25,78± 3,08	33,15± 3,68	35,33±3,49	36,79± 3,0
R²	0,6728	0,7711	0,8276	0,8745	0,8660
F	6,9394	11,3698	16,2069	23,5105	21,8203
Pr > F	< 0,0001 ^{***}	< 0,0001 ^{***}	< 0,0001 ^{***}	< 0,0001 ^{***}	< 0,0001 ^{***}

*** = très hautement significatif au seuil de 5%

✓ Hauteur des plants

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif ($p < 0,0001$) des traitements sur la croissance en hauteur des plants du 15^{ème} au 60^{ème} JAS et significatif ($p = 0,0155$) au 75^{ème} jour. Les hauteurs du riz les plus élevées ont été enregistrées avec le traitement T8 avec 53,29±0,74 ; 64,29±1,33 ; 79,79±0,55 ; 100±0,83 et 139,25±13,9 cm respectivement au 15^{ème}, 45^{ème}, 60^{ème} et 75^{ème} JAR (tableau 6). Les plus faibles hauteurs ont été notées avec le traitement témoin T0.

Tableau 6: Variation de la hauteur des plants (cm) en fonction des traitements et du nombre de jours après semis

Traitements	Nombre de jours après repiquage				
	15JAR	30JAR	45JAR	60JAR	75JAR
T0 = 0t+0kg/ha+0kg/ha urée	30,04±0,51 ^c	32,08±0,18 ^e	34,63±0,55 ^f	39,79±0,53 ^f	46,17±0,69 ^c
T1= 0t+100kg/ha+75kg/ha urée	38,71±0,49 ^c	43,46 ±0,60 ^d	50,92±0,43 ^e	58,92±0,60 ^e	58,50±1,48 ^{bc}
T2= 0t+200kg/ha+150kg/ha urée	43,13±0,98 ^{bc}	49,21±1,14 ^{cd}	59,46±1,01 ^{cd}	71±1,29 ^d	76,21±1,99 ^{bc}
T3=5t+0kg/ha+0kg/ha urée	40,75±0,25 ^c	47,67±0,40 ^{cd}	54,88±0,49 ^{de}	72±1,30 ^d	70,13±1,92 ^{bc}
T4 = 5t+100kg/ha+75kg/ha urée	40,75±1,19 ^c	51,13±1,35 ^{bcd}	58,29±1,69 ^{de}	78,63±1,99 ^{cd}	78,33±2,37 ^{bc}
T5=5t+200kg+150kg/ha urée	48,67±1,03 ^{ab}	57,83±0,87 ^{ab}	71,13±0,85 ^b	93,08±0,17 ^{ab}	90,46±2,16 ^b
T6 =7,5t+0kg/kg+0kg/ha urée	40,33±1,26 ^c	47,13±0,78 ^{cd}	56,96±0,64 ^{de}	74,08±0,75 ^d	80,92±2,42 ^{bc}
T7=7,5t+100kg/ha+75kg/ha urée	44,83±0,87 ^{bc}	52,58±1,13 ^{bc}	66,08±1,06 ^{bc}	84,67±0,98 ^{bc}	82,13±1,99 ^{bc}
T8=7.5t+200kg/ha+150kg/ha urée	53,29±0,74 ^a	64,29±1,33 ^a	79,79±0,55 ^a	100±0,83 ^a	139,25±13,9 ^a
Moyenne générale ± écartype	42,28 ±2,04	49,48 ±2,83	59,12 ±4,02	74,68 ±5,64	80,23 ±8,12
R²	0,6472	0,7479	0,8717	0,9036	0,4698
F	6,1905	10,0149	22,9311	31,6251	2,9907
Pr > F	0,0001 ^{***}	< 0,0001 ^{***}	< 0,0001 ^{***}	< 0,0001 ^{***}	0,0155 [*]

*** = très hautement significatif au seuil de 5% ; * = significatif au seuil de 5%

III.1. 2.2. Effets des traitements sur le rendement du riz et ses composantes

✓ Effets sur les composantes du rendement

L'analyse de variance a montré un effet très significatif des traitements sur le nombre talles par m² (p = 0,0013) et le nombre de panicules par m² (p = 0,0047) et significatif sur le taux d'infertilité (p = 0,0282), le taux de stérilité (P= 0,0403) et le poids 1000 grains (p= 0,0308). (Tableau 7).

En effet, le nombre de talles/m² est significativement plus élevé avec le traitement T6 (253,25±6,03 talles/m²) et plus faible avec le traitement témoin T0 (89,75±2,51 talles/m²).

Le nombre de panicules/m² enregistré au niveau du traitement T8 (159,75±4,90 talles/m²) est plus élevé que celui des autres traitements.

Considérant le taux d'infertilité des talles, il a été plus élevé avec les traitements T1 (46,65±0,11%) ; T3 (42,95±0,10%) et T6 (42,99±0,14%) (Tableau 7).

Le taux de stérilité le plus élevé a été observé avec le traitement T1 (43,45 ±1,57%). Quant au poids 1000grains, il est plus influencé par le traitement T5 (21,57 ±0,48 g).

Globalement, les plus faibles valeurs de ces paramètres sont notées avec le traitement témoin T0 (Tableau 7).

Tableau 7: Variation des composantes du rendement en fonction des traitements

Traitements	Composantes du rendement				
	NT/m ²	NP/ m ²	Taux Infert. %	Taux Stérilité %	Poids 1000 grains
T0 = 0t+0kg/ha+0kg/ha urée	89±2,51 ^c	68±2,19 ^c	23,7±0,33 ^b	24,62 ±1,93 ^c	18,56 ±0,14 ^{bc}
T1= 0t+100kg/ha+75kg/ha urée	210±4,44 ^{ab}	109±3,24 ^b	46,65±0,11 ^a	43,45 ±1,57 ^a	18,69 ±0,36 ^{bc}
T2= 0t+200kg/ha+150kg/ha urée	237±5,24 ^{ab}	145±4,11 ^{ab}	38,65±0,07 ^{ab}	34,29 ±0,12 ^{abc}	21,04 ±0,32 ^{ab}
T3=5t+0kg/ha+0kg/ha urée	216±4,74 ^{ab}	118±3,58 ^b	42,95±0,10 ^a	37,27 ±0,47 ^{ab}	19,43 ±0,08 ^{abc}
T4 = 5t+100kg/ha+75kg/ha urée	181±6,98 ^b	136±6,10 ^{ab}	23,82±0,07 ^b	28,54 ±1,04 ^{bc}	20,19 ±0,29 ^{abc}
T5=5t+200kg+150kg/ha urée	234±3,44 ^{ab}	144±2,69 ^{ab}	38,64±0,21 ^{ab}	33,07 ±0,84 ^{abc}	21,57 ±0,48 ^a
T6 =7,5t+0kg/kg+0kg/ha urée	253±6,03 ^a	140±4,55 ^a	42,99±0,14 ^a	38,56 ±0,67 ^{ab}	17,75 ±0,21 ^c
T7=7,5t+100kg/ha+75kg/ha urée	196±7,12 ^{ab}	118±5,58 ^b	38,67±0,11 ^{ab}	34,51 ±1,55 ^{abc}	20,52 ±0,31 ^{ab}
T8=7.5t+200kg/ha+150kg/ha urée	211±5,62 ^{ab}	159±4,90 ^a	23,87±0,15 ^b	30,03 ±1,94 ^{bc}	19,82 ±0,14 ^{abc}
Moyenne générale ± écartype	203±10,56	126±6,86	35,55±2,61	33,81±1,4	19,73± 0,33
R ²	0,5753	0,5247	0,4386	0,3897	0,3838
F	4,5725	3,7253	2,6369	2,1555	2,1025
Pr > F	0,0013 ^{**}	0,0047 ^{**}	0,0282 [*]	0,0403 [*]	0,0308 [*]

* = significatif au seuil de 5% ; ** = hautement significatif au seuil de 5%

Légende : NT = nombre de talles ; MP= nombre de panicules ; Infert. Infertilité

✓ Effets sur les rendements du riz

L'analyse statistique a révélé un effet significatif des traitements sur les rendements en grains ($p=0,004$) et en pailles ($p< 0,0001$) du riz. Mais aucun effet significatif des traitements n'est observé sur l'indice de récolte. En effet, les rendements grains et pailles sont significativement plus élevés avec le traitement T8 (Rdt grains=1040,63 ±20,79 kg/ha et Rdt paille= 3793,75±38,13kg/ha) et T5 (Rdt grains=621,88 ±55,86 et Rdt paille=3093,75 ±117,12 kg/ha). Les rendements en grains et pailles les plus faibles sont obtenus avec le témoin T0 (Tableau 8). On note également que les traitements T2 (0t+200kg/ha+150kg/ha urée) et T6 (7,5t+0kg/kg+0kg/ha urée) ont le même rendement en grains (475,00 ± 63,35 kg/ha), mais le

rendement en paille du T2 (2904,69 ±96,39 kg/ha) est deux fois plus élevés que celui du traitement T6 (1981,25 ±122,72 kg/ha).

L'indice de récolte le plus élevé en termes de valeur absolue est avec le traitement T8 (0,22) et plus faible avec le traitement T2 (0,14) (Tableau 8).

Tableau 8: Variation des rendements grains (Kg/ha), paille (Kg/ha) et de l'indice de récolte en fonction des traitements

Traitements	Rendements et Indice de récolte (IR)		
	Rdt grains Kg/ha	Rdt paille Kg/ha	IR
T0 = 0t+0kg/ha+0kg/ha urée	148,44 ±3,65 ^c	698,44 ±20,49 ^f	0,18±0,01 ^a
T1= 0t+100kg/ha+75kg/ha urée	284,38 ±11,58 ^c	1621,88 ±101,57 ^e	0,16±0,01 ^a
T2= 0t+200kg/ha+150kg/ha urée	475,00 ±26,41 ^{bc}	2904,69 ±96,39 ^{bc}	0,14 ±0,00 ^a
T3=5t+0kg/ha+0kg/ha urée	432,50 ±32,91 ^{bc}	1690,94 ±62,78 ^e	0,20 ±0,01 ^a
T4 = 5t+100kg/ha+75kg/ha urée	571,88 ±53,50 ^b	2259,38 ±120,57 ^{cde}	0,20 ±0,01 ^a
T5=5t+200kg+150kg/ha urée	621,88 ±55,86 ^b	3093,75 ±117,12 ^{ab}	0,16 ±0,01 ^a
T6 =7,5t+0kg/kg+0kg/ha urée	475,00 ±63,35 ^{bc}	1981,25 ±122,72 ^{de}	0,17 ±0,01 ^a
T7=7,5t+100kg/ha+75kg/ha urée	590,63 ±61,55 ^b	2653,13 ±80,35 ^{cde}	0,17 ±0,01 ^a
T8=7.5t+200kg/ha+150kg/ha urée	1040,63 ±20,79 ^a	3793,75 ±38,13 ^a	0,22 ±0,00 ^a
Moyenne générale ± écartype	515,59±56,49	2299,69±240,49	0,18±0,006
R ²	0,5313	0,7714	0,2011
F	3,8263	11,3886	0,8494
Pr > F	0,004 ^{**}	< 0,0001 ^{***}	0,569 ^{ns}

** = hautement significatif au seuil de 5% ; *** = très hautement significatif au seuil de 5% ; ns = non significatif au seuil de 5%

III.1.3. Relation entre les paramètres étudiés et les traitements appliqués

L'analyse de la figure 6 a permis de distinguer quatre groupes:

- ☞ le groupe **A** constitué par les traitements T7 et T8. Ces traitements sont caractérisés par une influence positive sur la hauteur des plants, le tallage, la production foliaire, les rendements grains et paille, le rapport C/N et l'indice de récolte. Ils sont aussi caractérisés par un taux de stérilité faible ;
- ☞ le groupe **B** constitué par les traitements T0 et T1 et qui induisent un taux de stérilité et des teneurs en potassium (K^+) et fer (Fe^{2+}) élevés. Ces traitements sont aussi caractérisés par des paramètres de croissance et des rendements faibles du riz ;
- ☞ le groupe **C** constitué par les traitements T2, T4, T5 et T6 qui induisent un taux d'infertilité et un poids 1000 grains élevés mais aussi des taux de matière organique (MO), de carbone (C), d'azote (N), de cuivre (Cu^{2+}) et de Zinc (Zn^{2+}) et capacité d'échange cationique (CEC) élevés ;
- ☞ et le groupe **D** représenté par le traitement T3 qui s'oppose au groupe précédent et qui induit un sol riche en manganèse (Mn^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), Calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+).

L'analyse de la figure ci-dessous montre suivant l'axe des abscisses, une corrélation négative entre le taux de stérilité et les rendements du riz et une corrélation positive entre les paramètres de croissance et le rendement du riz. Ce qui signifie que les plants ayant présentés un développement végétatif plus important ont un rendement plus important. Suivant l'axe des ordonnées, il apparaît une corrélation négative entre le taux d'infertilité et le poids 1000 grains d'une part et la teneur du sol en sodium (Na^+) et calcium (Ca^{2+}) d'autre part. Ce qui signifie que les sols riches en sodium et calcium induisent des poids 1000 grains et des taux d'infertilité faibles.

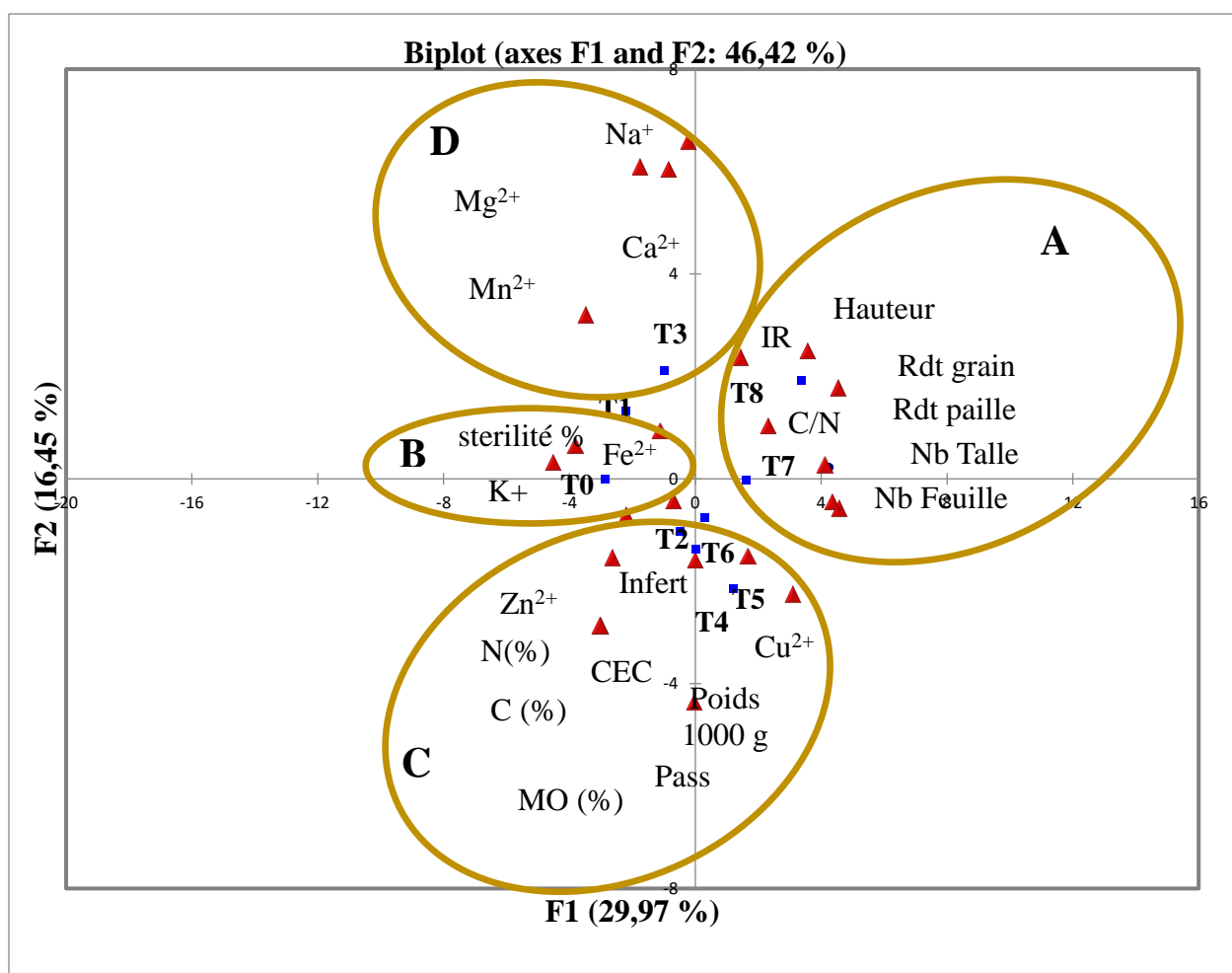


Figure 7: relation entre les paramètres et les traitements apportés

III.2. Discussion

Les résultats obtenus au cours de cette étude ont porté sur l'évolution des paramètres de croissance et de rendement du riz de la variété Nerica L19 ainsi que sur les paramètres chimiques du sol en fonction des doses de fertilisants organo-minérale apportée sur le riz.

III.2.1. Effet de différentes doses de fertilisation organo-minérale sur les propriétés chimiques du sol

Les traitements ont eu un effet très hautement significatif sur le taux de Carbone, de matière organique, (MO), de potassium (K) et sur la capacité d'échange cationique (CEC) et non significatif pour le taux de Sodium échangeable. Ces résultats ont aussi montré que le témoin (T0) contrairement à nos attentes, a affiché des valeurs élevées sur les différents éléments chimiques du sol. Cela pourrait être lié à une faible exportation des éléments minéraux par les plantes. Il peut être dû aussi à un transport d'éléments nutritifs par lessivage des parcelles contiguës au T0 ou, à des pertes lors de l'épandage qui a été fait à la volée. Selon Saïdou et Kossou (2009), le mode d'épandage à la volée contribue fortement à la perte des nutriments en milieu humide. Ainsi, les résultats ont montré que :

- le taux d'azote est plus élevé avec le traitement T5. Cela peut se justifier par les apports simultanés d'azote sous forme d'engrais organique, ce qui contribue à augmenter l'azote du sol et à terme contribue à un enrichissement du sol en azote (Sedogo, 1993) ;
- le C/N et le taux de matière organique sont assez bons pour tous les traitements mais leurs valeurs les plus élevées ont été obtenus avec le compost associé à la fertilisation minérale. Les teneurs élevées en N et K obtenus sur les parcelles fertilisées au compost et au fertilisant minéral confirment que la matière organique améliore les propriétés chimiques du sol, les rendant favorables à la croissance des cultures et constitue une source d'éléments nutritifs pour les cultures (Mulaji, 2011). Nos résultats sont similaires à ceux de Yang et al (2007) qui ont observé un résultat comparable. Une élévation du rapport C/N et du taux de MO du sol révèle une plus grande proportion de la MO fraîche partiellement décomposée ;
- Quant au phosphore assimilable, il est pratiquement élevé dans tous les traitements après l'essai. Cela pourrait s'expliquer selon Bacye (1993) par le fait que la mise en culture ne modifie pas la quantité de phosphore total. En outre, l'utilisation d'engrais, notamment le NPK augmente le niveau de la réserve en phosphore du sol ;
- pour bases échangeables les traitements n'ont pas eu un effet significatif pour le sodium échangeable. Toutefois, l'utilisation exclusive des fumures minérales T1 entraîne une

légère augmentation du potassium et sodium. Ces résultats sont à désaccord avec ceux de PARE (2014), selon qui l'utilisation exclusive des fumures minérales induit des déficits énormes en bases échangeables, en particulier en calcium. Et cela provient essentiellement des pertes par lixiviation de ces bases.

- la Capacité d'Echange Cationique est une propriété du sol lui permettant de fixer de façon réversible les cations échangeables. Ainsi, la CEC de ces sols tropicaux est à près de 80% d'origine organique et les sols sont riches en matière organique au début de l'essai. Il semble donc normal de trouver que la CEC est significativement élevée dans tous les traitements. Nos résultats corroborent ceux de Busby *et al.* (2007) et Amadji *et al.* (2009) qui confirment que les différentes doses d'engrais organo-minéral ont donc eu des effets positifs sur les propriétés chimiques du sol et ont favorisé une meilleure nutrition azotée de la première culture.
- les apports d'engrais minéral et organique ont eu des effets très significatifs sur les éléments-traces (Cu, Fe, Mn et Zn). A la fin de l'essai, la teneur du sol en ces éléments est relativement faible sur tous les traitements voir même nul dans le cas du Cu au niveau des traitements T0 et T1 et le Zn au niveau du traitement T3. Cette baisse de la teneur en ces éléments peut être due aux différentes exportations par les plantes durant leur développement. Ces résultats ne sont pas similaires à ceux de Li *et al.* (2010) qui ont observés que l'engrais organique enrichit significativement le sol en Zn, Fe, Cu et en Mn. Les éléments traces, en tant que micronutriments à faible concentration, sont favorables à la croissance des plantes. A forte concentration, ils peuvent devenir toxiques pour ces dernières et pour la vie du sol (Marschner 1995).

III.2.2. Effet des différentes doses de compost et de fertilisants minéraux azotés sur les paramètres de croissance du riz

Les traitements ont influencé significativement la croissance du riz du 15^{ième} au 75^{ième} JAR. Pour toutes les mesures, la croissance est plus importante avec les combinaisons composts-fertilisation minérale T8. Ces différences peuvent être expliquées par la capacité de la variété Nerica L19 à répondre à l'accroissement de la dose d'azote. Gala *et al.* (2011) ont montré que l'augmentation des quantités d'azote améliore considérablement la croissance végétative du riz. Elles peuvent aussi être dues au fait que la fertilisation minérale dispose d'éléments minéraux directement assimilables qui auraient favorisé la croissance rapide des plantes. Les résultats obtenus sont conformes avec ceux de Kaho *et al.*, (2011) et Tshibingu *et al.*, (2017) qui ont

montré que les apports de fertilisant minérale ont une influence positive sur la croissance du riz.

Mais, durant la dernière phase de croissance du riz, la combinaison organo-minérale a mieux influencé la croissance en hauteur. Cela pourrait s'expliquer par le fait que pendant les quarante-cinq derniers jours, la matière organique a eu le temps de se décomposer et de fournir aux plantes des nutriments en plus de ceux qui y ont été apportés pendant le compostage. Ces résultats sont conformes avec les travaux de Kaho *et al.*, 2011 ; Nyembo *et al.*, 2012 qui ont montré que les engrais minéraux combinés à la matière organique amélioraient le développement des cultures. La combinaison de ces deux actions stimule la croissance des plantes en créant un environnement racinaire favorable, non seulement à l'assimilation des nutriments, mais aussi à la fixation symbiotique de l'azote. Cependant, nos résultats ne sont pas en accord avec ceux de Gueye (2016), qui a confirmé l'absence d'effets positifs de l'interaction des fertilisants sur le fonio en Casamance et dans le Sénégal oriental. Pour lui, l'absence d'effet significatif de l'interaction de la matière organique et de la fertilisation minérale pourrait s'expliquer par la qualité de la matière organique utilisée, mais aussi par la nature du sol et/ou la variété utilisée. Nacro (2018) a montré que l'engrais organique (Fertinova plus Organova) associé à l'engrais minéral a donné la plus grande croissance en hauteur des plantes de tomate.

III.2.3. Effet des différentes doses de compost et de fertilisation minérale azotée sur le rendement et ses composantes

Le tallage est influencé positivement par les différents apports. Le traitement T6 (7,5t+0kg/ha+0kg/ha) a enregistré le nombre de talle le plus élevé. Etant donné que le rapport C/N du compost est de 1.62, cela peut être dû à une libération importante d'azote par le compost favorable au développement des talles. Sanogo *et al.*, (2010) affirmaient que l'engrais riche en azote influence le nombre de talles. Ces résultats sont conformes à ceux de plusieurs auteurs (Dobermann et Fairhurst, 2000 ; Dicko, 2005). Ces derniers affirment que le développement végétatif est d'abord déterminé par le tallage qui est corrélé aux conditions d'alimentation azotée. Par contre ces résultats ne sont pas en phase avec les travaux de Bamba (2020) qui a montré une absence d'effets positifs de l'interaction engrais organique-engrais minéral sur le tallage du mil Sanio en Casamance et au Sénégal Oriental. Le résultat est identique quant au nombre de panicules, car le nombre de talles et panicules sont étroitement liés. Et, cette influence est plus marquante avec le traitement T8 (7,5t et 100% de la dose FMR). Cela pourrait être expliqué par l'apport en éléments nutritifs que procurent ces amendements. Ainsi, Miller *et al.*, (2014) ont montré que le compost est une source directe de nutriments. Les

doses d'engrais ont eu un effet significatif sur le poids de 1000 grains de riz. Les grains les plus lourds (21, 57g) sont produits par le traitement T5 (5t+200kg+150kg/ha urée). Ce poids est inférieur au poids 1000 grains de la variété Nerica 7 qui va jusqu'à 30g (JICA, 2011). Cela peut s'expliquer par un mauvais remplissage des grains lié au repiquage tardif qui a coïncidé presque à la fin de l'hivernage. Ce qui nous a obligés d'ailleurs à faire recours à l'arrosage manuel pendant 25jours. Ces résultats sont différents de ceux d'Ouattara (2014) qui a obtenu un poids des 1000 grains qui varie entre 29,11 g et 32,16 g.

Les rendements en grains et en paille ont été significativement affectés par les doses d'engrais. Que ce soit en pailles ou en grains, les rendements les plus importants sont obtenus avec la combinaison 7.5t+200kg/ha+150kg/ha urée. Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que le rendement du riz est fortement influencé par les paramètres tels que : nombre de panicules, de grains par panicule et de grains vides par panicule qui dépendent également de la fertilisation. De même que la combinaison compost-fertilisation minérale permettent d'assurer à la fois une disponibilité immédiate et dans le temps des éléments nutritifs. Du fait que l'azote soit l'élément fertilisant le plus important pour le riz (ADRAO, 1995) et que l'engrais minéral soit riche en azote, sa combinaison avec le compost augmente le rendement paddy mais aussi la quantité de biomasse. Nos résultats sont en accord avec ceux de Sanogo *et al.* (2010) qui ont montré que le rendement de la variété Nerica augmente lorsque la fertilisation est adéquate. Ils sont aussi conformes à ceux d'autres travaux sur diverses céréales (Akanza *et al.*, 2014 et Nyembo *et al.*, 2014). Ces résultats corroborent aussi ceux d'Amos *et al.* (2013) qui avaient obtenu une amélioration de la production de biomasse du maïs fourrager avec la fiente de volaille et la fertilisation minérale au Nigeria. De même que Somda *et al.* (2017) qui ont montré une amélioration de la production de biomasse aérienne du fonio et des rendements du sorgho suite aux apports organo-minéraux. Contrairement à ces résultats, Kanfany (2009) a noté en milieu réel au Sénégal que l'interaction engrais minéral-matière organique n'a pas induit d'effets significatifs sur la biomasse du fonio.

CONCLUSION

L'étude sur les effets des différentes doses d'amendements organiques et de la fertilisation minérale sur les propriétés chimiques du sol et sur les paramètres agro-morphologiques du riz a permis de montrer que la combinaison compost-fertilisation minérale améliore positivement la croissance et la production du riz. Les analyses de sols montrent de manière générale que les bases échangeables (Na^+ , Ca^{2+} , K^+) et la capacité d'échange cationique (CEC) augmentent avec la fertilisation minérale contrairement aux autres propriétés chimiques qui sont plus influencées par les combinaisons composte et fertilisation minérale. Le riz a réagi positivement à toutes les doses de fertilisants. Par ailleurs, nous pouvons dire que même si l'apport seul du compost ou de la fertilisation minérale améliore sa productivité, leur combinaison est beaucoup plus efficace. Car, le rendement du riz est plus important dans les traitements où le compost est combiné avec la fertilisation minérale particulièrement avec le traitement T8 (7,5t/ha C1+100% de la dose de FMR).

Cependant, compte tenu des contraintes (pause de la pluviométrie, divagation des animaux, certains attaques...) rencontrées durant la mise en œuvre de nos travaux, il serait important de :

- Reprendre l'étude suivant différents suivant les modes culturaux à plat ou sur billon, afin de définir la performance des doses suivant chaque mode cultural ;
- évaluer l'impact multi annuel des différentes doses de fertilisants sur les propriétés chimiques des sols.

Au vu de ces résultats, il apparaît plus judicieux pour les producteurs d'utiliser la dose 7,5t/ha C1+100% de la dose de FMR (T8) qui a permis d'obtenir le meilleur rendement. Aussi, le traitement T6 (7,5 t de compost) qui permet de produire autant de grains que la dose recommandée de fertilisation minérale (T2) peut être recommandée pour une production plus durable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABGA P. T, 2013.** Détermination des options de fertilisation organo-minérale et de densité de semis pour une intensification de la production du maïs dans la région de l'Est du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur du Développement Rural ; option agronomie. Université Polytechnique de Bobo, Burkina Faso. 70P.
- Adanabou K.E.P, 2013.** Phénotypage de 440 accessions de l'espèce africaine *Oryza glaberrima* steud pour la vigueur végétative et pour l'architecture de la panicule. Mémoire de Master : Sélection et valorisation des Ressources Phytogénétiques. Option : Génétique et Biotechnologie Végétales. Université d'Ouagadougou. 90 p.
- ADRAO, 1995.** Formation en production rizicole : manuel du formateur, Cotonou, Bénin : Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO). 305 p.
- AFRICARice, 2020.** Nerica. Fiche technique 2p
- Akanza K. P., Sanogo S., N'Da H. A., 2016.** Influence combinée des fumures organique et minérale sur la nutrition et le rendement du maïs : Impact sur le diagnostic des carences du sol. *TROPICULTURA*. 34(2) 208- 220.
- Akanza K.P., Sanogo S.C.K. Kouakou, N'da H.A. et Yao-Kouamé A., 2014.** Effets de la fertilisation sur la fertilité des sols et les rendements : Incidence sur le diagnostic des carences du sol. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 24, 299 – 315.
- Akanza K.P., Yayo K. A., 2011.** Fertilisation organo-minérale du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et diagnostic des carences du sol. *Journal of Applied Biosciences* 46: 3163–3172, 10 pages.
- Akanza KP., Sanogo S., Kouakou CK., N'Da HA, Yao-Kouamé A. 2014.** Effets de la fertilisation sur la fertilité des sols et les rendements : incidence sur le diagnostic des carences du sol. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 24 : 299-315.
- Akanza PK., 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., Sanogo, S., Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), 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

- Amadji GL, Saïdou A, Chitou L. 2009.** Recycling of residues in compost to improve coastal sandy soil properties and cabbage shoot yield in Bénin. *Int J Biol Chem Sci*,3 (2):192-202.
- Amandine, L., 2012.** Pédologie III : Notions de base 2 100.
- Amos H.O., Cyprian I. and Audu I., 2013.** Effect of chicken manure on the performance of vegetable maize (*Zea mays saccharata*) varieties under irrigation. *Discourse Journal of Agriculture and Food Sciences*, 1(12) : 190-195.
- Annabi M. 2005.** Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de compost d'origine urbaine : relation avec les caractéristiques de leur matière organique (Doctoral dissertation).281p
- ANSD.2020.** Rapport d'enquête campagne agricole (2019-2020). 10 pages
- Bacaye, B. (1993).** Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone soudano sahelienne (province du Yatenga Burkina faso).
- Badiane A. 2017.** Etude de Synthèse bibliographique sur les potentialités agronomiques des sols gris hydromorphes de Casamance : intérêt pour la riziculture sous les effets des contraintes environnementales. Mémoire de confirmation. Centre de Recherches Agricoles de Djibélor, Institut Sénégalaise de Recherches agricoles du Sénégal. 8p
- Badiane, A., Goudiaby, A.O.-K., Diop, B., Ndour, N.Y.B., 2019.** Characteristics of two compost formulas to valorize organic matter in Casamance (Senegal). *Journal of Materials and Environmental Sciences* ISSN: 2028-2508 CODEN: JMESCN. 8 p.
- Bado B. V. (2002).** Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèse de doctorat : Université Laval-Québec, 197 p.
- Baize D. 2000.** Guide des analyses en Pédologie. 2 ed. Paris: INRA. 328pages
- Bamba B. 2020.** Analyse des pratiques culturales et études des techniques de semis et de fertilisation du mil *Sanio Pennisetum glaucum* L.R.Br au Sénégal Oriental et en Casamance Sénégal. Thèse de Doctorat en science Agronomiques et environnement, Université Assane Seck de Ziguinchor, UFR Science et Technologie, 137 pages

- Bationo A. & Buerkert A. 2001.** Soil organic carbon management for sustainable land use in Sudano-Sahelian West Africa. *Nutrient Cycling in Agro-ecosystems* 61: 131-142.
- Bationo A. & Ntare B. R. 2002.** Rotation and nitrogen fertilizer effects on pearl millet, cowpea and groundnut yield and soil chemical properties in a sandy soil in the semi-arid tropics, *West African journal of agricultural Science* 134: 277-284.
- Biaye J.B, Sané Y., Fall A C A, 2021.** Salinisation-acidification des sols et riziculture dans la commune de Mlomp, Oussouye (Basse Casamance), 12pages
- Briat, J.-F., Job, D., 2017.** Les sols et la vie souterraine: Des enjeux majeurs en agroécologie. Editions Quae 330
- Brunet R., Ferras R., They H., 1992.** *Les Mots de la géographie, dictionnaire critique*, coll. Dynamiques du territoire. pp. 148-154
- Busby RH, Torbert A, Gebhart DL. 2007.** Carbon and nitrogen mineralization of non-composted and composted municipal solid waste in sandy soils. *Soils Biol. Bioch.* 39:1277-1283
- Chauvel, A, 1977.** -Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance. Thèse, université de Strasbourg. ORSTOM, Paris. Coll. Trav. et DO., n° 62, 532 pp.
- Cissé D., 2011.** Evaluation des performances agronomiques du placement profond de l'urée en riziculture irriguée dans la vallée du Sourou. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural ; option vulgarisation agricole. Institut du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo. Burkina Faso. 61P.
- Cissé D., 2013.** Effet du mode de gestion des résidus de récolte sur le sol et les rendements du coton, du maïs et du sorgho au Burkina Faso. Mémoire de Mastère en gestion durable des terres. AGRHYMET, Niger. 81 p.
- Colen, L., M. Demont, et J. Swinnen., 2013.** Participation des petits exploitants aux chaînes de valeurs agricoles : Le cas de la production locale de riz au Sénégal, Dans : Reconstruire le potentiel alimentaire de l'Afrique de l'Ouest, A. Elbehri (ed.), pp- 423-451FAO/FIDA

- Cotxarrera L., Trillas-Gay M. I., Streinberg C. et Alabouvette C. 2002.** Use of sewage sludge post and *Trichoderma asperellum* isolates to suppress *Fusarium* wilt of tomato. *Soilbiology and biochemistry*. **34** (4), 467-476.
- CSE, 2007.** Caractérisation des systèmes de production agricole au Sénégal. Rapport de
- DAPSA, 2020.** Rapport de l'Enquête Agricole Annuelle (EAA). 67pages
- Del Villar, P.M., DIA, D., 2019.** Le riz pluvial en Casamance et Bassin arachidier. **BAME/ISRA, TETIS/CIRAD** 15p
- Diatta S et Sibon P. 1997.** Évolution des sols sous culture continue : le cas des sols rouges ferrallitiques du sud Sénégal. Pages 221–229. G. Renard, A. Neef, K. Beker and M. Von Oppen (eds.). *Soil Fertility Management in West African Land Use Systems*. Proc. Niamey, Niger, 4–8 March 1997. Margraf Verlag, Allemagne.
- Dicko M K. 2005.** Analyse du fonctionnement d'une parcelle de riz irriguée sur sol alcalin. Application à la gestion intégrée de la fertilisation azotée et du calendrier cultural dans le delta intérieur du fleuve Niger (Mali). Montpellier : ENSAM, 170 p. Thèse de doctorat : Biologie des systèmes intégrés, agronomie et environnement. Science du sol : Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier.
- Diedhiou S.O., Sy O et Margetic Ch., 2018.** Agriculture urbaine à Ziguinchor (Sénégal): des pratiques d'autoconsommation favorables à l'essor de filières d'approvisionnement urbaines durables. 14p
- Dobermann,A., Fairhurst, T. 2000.** Effect of Wastewater Irrigation on Growth and Yield of Rice Crop and Uptake and Accumulation of Nutrient and Heavy Metals in Soil. Economics of fertilizer use. In 'Rice: Nutrient disorders & nutrient management'. 1st Edition. Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC), and International Rice Research Institute (IRRI), 40-117.
- Douglas JT, Aitken MN, Smith CA. 2003.** Effects of five nonagricultural organic wastes on soil composition and on the yield and nitrogen recovery on Italian ryegrass. *Soil Use and Man*. 19:135-138.
- Duchaufour. Ph, Faivre. P, Poulénard. J, Houot. S, Gury. M, 2018.** Introduction à la science du sol - 7e éd.: Sol, végétation, environnement by *Unknown*, 352 Pages
- EEDD, 2012.** Guide pédagogique les sols 32.

- Fardeau J.C., 2000.** Estimation de la biodisponibilité des éléments nutritifs contenus dans les produits organiques résiduaux. Ingénieries eau-agriculture-territoires, Lavoisier ; IRSTEA ; CEMAGREF, p. 15 - p. 28. Ffhal-00463558f
- Fies, J.-C., Stengel, P., Bourlet, M., Horoyan, J., Jeandet, C., 1981.** Densité texturale de sols naturels. I. - Méthode de mesure. *Agronomie* 1, 651–658.
- Frisque M. 2007.** Gestion des matières organiques dans les sols cultivés en Région wallonne : avantages agronomiques, avantages environnementaux et séquestration du carbone. 102pages
- Gala, J.B.T., Maméri, C., Albert, Y.-K., Jules, K.Z., 2011.** Rentabilité des engrais minéraux en riziculture pluviale de plateau : Cas de la zone de Gagnoa dans le centre ouest de la Côte d'Ivoire 10p.
- Gelin, S., & Stengel, P., 1998.** Sol : interface fragile. Paris : Editions INRA. Synthèse du projet FAO Land Degradation Assessment (LADA). 222p
- Gobat J M., Argno M Et Mathey W., 2010.** Le sol vivant bases de pédologie–biologie des sols (3eme Ed., Vol.1). Italie : Revue et Augmentée Page 51-60.
- Gueye M. 2016.** Amélioration des techniques de semis, de fertilisation et de récolte du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf ; Poaceae) au Sénégal Oriental et en Casamance (Sénégal). Thèse de doctorat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 162 pages
- Hinvi, J.C., Nonfon, R.C., Djenontin, J.P.A., Mensah, G.A., Gantoli, G et Horst, O., 2012.** Fiche technique : Effets de la fumure organo-minérale sur le rendement de NERICA dans les Départements de l'Atacora et la Donga au Nord-Ouest du Bénin, 1 p.
- IFDC-Catalist, 2010.** La gestion de la matière organique du sol, fiche technique n°8, IFDC, Kigali, Rwanda, 24 p.
- JICA. 2011.** Guide pour la culture du NERICA. 3^{ème}Ed. 44pages
- Jury, W., OR, D., Pachepsky, Y., Vereecken, H., 2001.** Kirkham's legacy and contemporary challenges in soil physics research. - *Soil Science Society of American Journal*, 2011, 75(5), 1589-1601.

- Kaho F., Yemefack M., Tegwefou F. et Tchanthaouang J.C., 2011.** Effet combiné de feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur le rendement du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au centre du Cameroun. *Tropicultura*, vol 29, pp 39 - 45.
- Kanfany Gh., 2009.** Effets de la fertilisation organo-minérale sur la croissance et le rendement du fonio. Mémoire de fin d'étude d'école nationale supérieure d'agriculture de Thiès/Sénégal. 68pages
- Koulibaly B., Traoré O., Dakuo D., Zombré P.N. & Bondé D., 2010.** Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso. *Tropicultura*. 28(3) : 184-189.
- Laboubée C. 2007.** Retour au sol des matières organiques nécessaires à leur maintien en état en sols agricoles. GIE ARVALIS/ONIDOL, France, 47 p.
- Lacharme, M., 2001.** La fertilisation minérale du riz. Direction de la Recherche Formation Vulgarisation, Ministère du Développement Rural et de l'Environnement. 2001 a. p. 19, Fascicule 6.
- Lal, R., Reginer, E., Eckert, D. J., Edwards, W. M., and Hammond, R. 1991.** Expectation for cover crops for sustainable agriculture. In: Cover Crops for Clean Water, pp. 1–11.
- Li. X., Wu. J., Tian. G. 2010.** Bioaccumulation de métaux lourds chez le ver de terre *Eisenia fetida* en relation avec les concentrations de métaux biodisponibles dans le fumier de porc. *Bioresource Technol.*, 101 (10) : 3430-3436.
- Locatelli A., 2013.** Prévalence de pathogènes humains dans les sols français, effet des facteurs pédoclimatiques, biologiques et du mode d'utilisation des sols. 187pages
- MAEF., 2011.** L'action extérieure de la France contre la dégradation des terres et la désertification. Ministère des Affaires Etrangères. Paris, France, 12 p.
- Manga, A.H.S., 2019.** Effets de différents types de composts, du phosphogypse et de la fertilisation minérale sur les propriétés chimiques et biochimiques d'un sol sulfaté acide et le rendement du riz à Djibélor (Basse Casamance). 52 pages
- Manzelli M, Fiorillo E, Bacci M, Tarchiani V, 2015.** La riziculture de bas-fond au sud du Sénégal (Moyenne Casamance) : enjeux et perspectives pour la pérennisation des

actions de réhabilitation et de mise en valeur. *Cah Agric* 24: 301-312. doi: 10.1684/agr.2015.0772

Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. 889pp. London: Academic Press, £29.95.

Mbow. M., 2017. Les défis de l'agriculture sénégalaise dans une perspective de changements climatiques. 50 pages

MFAA, 2006. Indicateurs de durabilité des exploitations

Miller, T.R., Wiek, A., Sarewitz, D., Robinson, J., Olsson, L., Kriebel, D., Loorbach, D., 2014. The future of sustainability science: a solutions-oriented research agenda. *Sustain Sci* 9, 239–246.

Millington, R. et Quirk, J., 1961. Permeability of porous solids. - *Transactions of the Faraday Society*, 1961, 57, 1200-1207.

Millogo D., 2002. Diagnostic des modes de gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de culture motorisés en zone cotonnière ouest du Burkina Faso. 94 pages

Mills A.J. & Fey M.V., 2003. Declining soil quality in South Africa: effects of land use on soil organic matter and surface crusting. *South Afr. J. Sci.* 99 : 429-436.

Mulaji KC. 2011. Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Thèse de doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique, Université de Liège- Gembloux Agro-Biotech, 220p. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/104845/1/Mulaji_Kyela_Crispin%28thèse%29.pdf

Mustin M., 1987. Le Compost, Gestion De La Matière Organique. Editions François Dubus, Paris. 954 pages

Nacro S. R., 2018. Effets des fertilisants organiques sur la production de la tomate et les paramètres chimiques du sol au centre nord du Burkina Faso. 56 pages

NGoucheme. M., Tabi F., Lontsi. M., Fouadou. J., 2020. Effets combinés des dates de semis et de la fertilisation minérale sur la performance du riz NERICA L56 dans la plaine des Mbo, Cameroun. 12 pages

- Nyembo K. L., Useni S. Y., Mpundu M.M, Bugeme M. D., Kasongo L. E. et Baboy L. L., 2012.** Effets des apports des doses variées de fertilisants inorganiques (NPKS et Urée) sur le rendement et la rentabilité économique de nouvelles variétés de *Zea mays* L. à Lubumbashi, Sud-Est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, vol 59, pp 4286 - 4296.
- Nyembo K.L., Useni S.Y., Chinawej M.M.D., Kyabuntu I.D., Kaboza Y., Mpundu M.M., Baboy L.L., 2014.** Amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol sous l'apport combiné des biodéchets et des engrais minéraux et influence sur le comportement du maïs (*Zea mays* L. variété *Unilu*). *Journal of Applied Biosciences*, 74, 6121– 6130.
- NYS, C., 1980.** Modifications des caractéristiques physico-chimiques d'un sol brun acide des Ardennes primaires par la monoculture d'Epicéa commun 38, 237–257.
- ONU., 2006.**L'amélioration de la durabilité de la production du coton en Afrique de l'Ouest et du Centre, ONU, New York, Etats Unis, 118 p.
- ORSTOM., 1965.** Les sols du Sénégal, deuxième partie, 45 pages ;
- Ouattara L. A., 2014.**Effet des rotations et des fumures à base du Burkina phosphate sur la croissance et le rendement du riz pluvial strict dans la zone Soudanienne du Burkina Faso. Mémoire de master en production végétale. Université Polytechnique de Bobo. Burkina Faso. 49P.
- Ouédraogo E, 2004.** Interaction of tillage, inorganic N and organic amendments affect soil carbon and crop performance in semi-arid West Africa. PhD thesis Wageningen University and Research Centre, The Netherlands. Chapitre 3. P37.
- PAPSEN., 2015.** Changements d'occupation et d'utilisation des sols dans les vallées de la moyenne Casamance Les cas d'étude des vallées de Samiron et Djimbana, 25p.
- PARE, M B. 2014.** Effets de la fumure organique sur les caractéristiques chimiques des sols en zone cotonnière ouest du Burkina Faso : cas des sols ferrugineux de boni et des sols bruns eutrophes de dossi. 59 pages
- Roger-Estrade, J., Adamiade, V., Arrouays, D., Baranger, E., Bartoli, M., Boizard, H., Brêthes, A., Brisson, N., Capowiez, Y., Chanzy, A., Chaplain, V., Cousin, I., Cosenza, P., Cui, K., Cui, Y., Debuisson, S., Défossez, P., Gérard, F., Lévêque, E.,**

- Leveque, F., Mary, B., Mumen, M., Ranger, J., Tabbagh, A., Tabbagh, J., 2011.** Dégénération physique des sols agricoles et forestiers liée au tassement : principaux résultats du projet GESSOLADD DST. *Étude et Gestion des Sols*, Volume 18, 3, 2011 - pages 187 à 199.
- Sadio S. 2007.** Techniques de conservation des sols et de gestion intégrée de la fertilité en appui au programme de sécurité alimentaire, guide pratique de terrain. FAO, Rome, Italie, 96p
- Sadio, S., 1995.** Dégénération physique des sols et lutte contre l'érosion 6.
- Saïdou A. et Kossou D., 2009.** Water management for enhancing land productivity in Benin: perceived constraints and opportunities for the development of smallholder farmers. In: A. van Huis and A. Youdeowei (eds). *Proceedings of the 1st CoS-SIS International Conference*, 22– 26 June, Elmina, Ghana, pp. 48–52.
- Sané T., 2017.** Vulnérabilité et adaptabilité des systèmes agraires à la variabilité climatique et aux changements sociaux en Basse-Casamance (sud-Ouest du Sénégal), Thèse de doctorat 374 pages.
- Sané Y., Ba B D., Fall A C A L., Sy B A., Descroix L., 2018 :** Contraintes de mise en valeur des parcelles rizicoles dans le village de Colomba (département de Bignona), Sud du Sénégal, article publié dans le journal international *Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement* ISS(electronic) :1737-9350 ; ISSN(printed) :1737-6688 ; Volume III, Numéro2-Aout 2018 p134 à 140
- Sané. S., 2018.** La station agricole de Séfa (région de Sédhiou): analyse géographique du domaine agricole de la période coloniale à nos jours. 116pages
- Sanogo S., Camara M., Zouzou M., Sekou A., 2010.** Effets de la fertilisation minérale sur des variétés améliorées de riz en condition irriguée à Gagnoa, Côte d'Ivoire 9.
- Sarrouy C., 2010.** « Insécurité alimentaire au Sénégal : l'agro-écologie comme réponse à la sous-alimentation et à la dégradation de l'environnement dans un pays en développement », Mémoire Master en Science et Gestion de l'Environnement, Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences, p. 96
- Schlecht E, Buerkert A., 2004.** Organic input and farmers' management strategies in millet fields of western Niger. *Geoderma* 121:271–289.

- Sedogo, P. M. (1993).** *Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: Incidence des modes de gestion sur la fertilité.* Thèse de Doctorat, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 333p.
- Sié M., Dogbe S. et Diatta M., 2009.** Sélection variétale participative du riz. Manuel du technicien. ADRAO, Cotonou, Bénin. 118 p.
- Siri A., 2012.** Détermination de la capacité nutritive des sols en riziculture irriguée dans les périmètres de la vallée du Sourou : approche par les essais soustractifs, et utilisation du modèle QUEFTS-WS pour la formulation des options de fertilisations, mémoire ingénieur agronome UPB, 56p.
- Six, J., K. Paustian, Elliott E., Combrink C. 2000.** Structure du sol et matière organique du sol : I. Distribution des classes de taille des agrégats et du carbone associé aux agrégats. *Soil Science Society of America Journal*, 64 :681-689.
- SOLAG, 2016.** Le calcium dans le sol. Bulletin Sol et Agronomie des Chambres d'agriculture des Pays de la Loire 8, 2
- Soltner D. 1992.** Les bases de la production végétale. Tome 1 : le sol. Collection Sciences et Techniques Agricoles, 19^e édition, Sainte Gemmes sur Loire. 467 pages
- Somda B. B., Ouattara B., Serme I., Pouya M. B., Lompo F., Taonda S. J. B., et Sedogo P. M., 2017.** Détermination des doses optimales de fumures organo-minérales en microdose dans la zone soudanosahélienne du Burkina Faso. In : *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2): 670-683, 15 pages.
- Somda B. B., Ouattara B., Serme I., Pouya M. B., Lompo F., Taonda S. J. B., et Sedogo P. M., 2017.** Détermination des doses optimales de fumures organo-minérales en microdose dans la zone soudano sahélienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 (2): 670-683, 15 pages
- Tamia, A., Moreau, R., Fortier, M., 1999.** Influence du travail du sol sur l'évolution physique d'un sol forestier ferrallitique après défrichement motorisé. *Étude et Gestion des Sols* 14.
- Thuriès L., Arrufat A., Dubois M., Feller C., Herrmann P., Larré-Larrouy M.C., Martin C., Pansu M., Rémy J.C. & Viel M., 2000.** Influence d'une fertilisation organique

et de la solarisation sur la productivité maraichère et les propriétés d'un sol sableux sous abri. *Etude et gestion des sols*, 7(1), 73-88.

Tiemtore C. B., 2001 : « Zonage agro climatique des cultures de riz pluvial, de coton et de maïs dans l'ouest du Burkina ». Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural ; option agronomie Université Polytechnique de Bobo. Burkina Faso. 101P.

Tshibingu R. M., Mukadi T. T. Mpoyi, M. B., Ntatangolo B. M. et al., 2017. Evaluation de la productivité du maïs (*Zea mays* L.) sous amendements organique et minéral dans la province de Lomami, République Démocratique du Congo. *Journal of Applied Biosciences* 109: 10571-10579.

Vergara, B.S. 1984. *Manuel Pratique de Riziculture*. IRRI. Los Banos, Laguna, PHILIPPINES : s.n., Rapport technique , p. 194,.

Yang, J. Y. De Jong, R. Drury, C. F. Huffman, E. C. Kirkwood, V. Yang X. M. 2007. Development of a Canadian Agricultural Nitrogen Budget (CANB v2.0) model and the evaluation of various policy scenarios. *Canadian Journal of Soil Science* 87 : 153–165. (Dick, 1997

Yoro, G et Godo, G., 1990. Les méthodes de mesure de la densité apparente Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cah. ORSTOM*, sér. Pédol., vol. XXV, n "4, 1989-1990 : 423-429

Zenabou H., Mahamane S., Bismarck N. H., Bado B. V., Lompo F. et André B., 2014. Effet de la combinaison des fumures organo-minérales et de la rotation niébé-mil sur la nutrition azotée et les rendements du mil au sahel. In: *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(4): 1620-1632, 13 pages

Zombré N. P., Mando A. & Ilboudo J. B., 1999. Impact des conservations des eaux et des sols sur la restauration des jachères très dégradées au Burkina Faso. In La jachère en Afrique de l'Ouest. Rôles, Aménagements et Alternatives. Floret et Pontanier (éd., 2000), vol. 1: 771-777.