

UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



UFR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Département d'agroforesterie

Mémoire de master

Spécialité : Aménagement et gestion durable des écosystèmes forestiers et agroforestiers

Effets de différents types de fertilisation sur les performances agronomiques du riz (*Oryza sativa* var *nerica* L.) de plateau à la station de Djibélor, Basse Casamance

Présenté et soutenu par

M^{lle} Fatou DIOP

Encadrants : Dr Ismaïla COLY, Maître de Conférences CAMES/UASZ

Dr Baboucar BAMBA, Chargé de Recherches (CRA, Saint-Louis/ISRA)

Soutenu publiquement le 10 Janvier 2026 devant le jury composé de:

Président:	M. Ngor NDOUR	Maître de Conférences	UFR ST/UASZ
Membres:	M. Aly DIALLO	Maître de Conférences	UFR ST/UASZ
	M. Joseph Saturnin DIEME	Maître Assistant	UFR ST/UASZ
	M. Baboucar BAMBA	Chargé de Recherches	CRA Saint-Louis/ISRA
	M. Ismaïla COLY	Maître de Conférences	UFR ST/UASZ

Année universitaire 2024-2025

DEDICACES

Je dédie ce travail à toute ma Famille particulièrement à mes très chers parents **Amadou Lamine** et **Aïssatou DIOP**.

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 tuteurs à Ziguinchor.

La **Famille GAYE**, qui n'a ménagé aucun effort pour me mettre dans les meilleures conditions possibles depuis la licence, merci infiniment.

A **Mr Lamine DIOP** pour tout le soutien qu'il m'a apporté tout au long de mon cursus universitaire.

A maman **DIE ASTOU GUEYE** pour l'amour qu'elle nous donne depuis notre enfance.

A tous mes frères et sœurs **Moustarchides** de la CSU de Ziguinchor ;

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 accordé la force, le courage, la santé et la patience d'accomplir ce travail.

J'adresse mes sincères et chaleureux remerciement à mes encadrants Pr Ismaïla COLY, chef du département d'Agroforesterie et Dr Baboucar BAMBA, Chargé de Recherches (ISRA/CRA, Saint louis/ISRA) 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.

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

Mes sincères remerciements vont à l'endroit du Dr Paternne DIATTA, Directeur de l'ISRA ainsi que tout le personnel de l'institut (Chercheurs, Ouvrier, Stagiaires, Gardiens et personnel administratif) pour m'avoir accueilli chez eux et mis dans de bonnes conditions de travail.

Je remercie également le Centre International pour le Développement des Engrais (IFDC) et le projet «DUNDAL SUUF » pour l'accompagnement et le financement pour la réalisation de ce travail.

Mes sincères remerciements vont à l'endroit de notre technicien Mr Boubacar SONKO pour sa disponibilité ses conseils et son soutien depuis le début jusqu'à la fin de l'expérimentation.

A tous ceux qui m'ont aidé dans l'exécution de mes activités de recherche. Mention spéciale aux stagiaires de l'ISRA notamment Mr Jean Baptiste DIATTA, Mme Maimouna SONKO, Mme Soda Yacine SADJI qui m'ont aidé dans le suivi de l'essai.

Un grand merci à mes amis Mr Babacar NIANG, Mme Seynabou BOYE NGOM, Mr Fallou DIA, Dr moussa DIALLO, Mme Aida MBENGUE, ma princesse Anta DIOP, Maitre Fatoumata Coumba MBALLO, Dr Mohammed GAYE, mes fils Mohamed DIOUF et Yoro BALDE, pour tous les efforts consentis à notre endroit.

Je remercie également mes tontons Alioune DIOP, EL Hadji Malik DIOP que Dieu vous garde et vous récompense de la meilleure manière.

Merci à mes amis d'enfance Aïssatou DIOP, Marieme NDIAYE, Khady DIOP, Aminata DIOP je vous garde du plus profond de mon cœur.

A tous mes condisciples de la CSU de Ziguinchor pour votre soutien et accompagnement durant tout mon cursus universitaires.

A mes collègues de la CIPS ainsi que celles de la Commission Féminine de la CSU de Ziguinchor, veuillez recevoir mes sincères remerciements.

A tous mes camarades de la 13eme 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

DEDICACES	1
REMERCIEMENTS	2
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	6
LISTE DES FIGURES	7
LISTE DES TABLEAUX	8
RESUME	9
INTRODUCTION.....	11
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	13
1.1 Généralités sur le riz	14
1.1.1 Origine et systématique du riz	14
1.1.2 Caractéristiques botaniques	14
1.1.2.1 La tige	15
1.1.2.2 Les feuilles	15
1.1.2.3 La fleur	15
1.1.2.4. La panicule.....	15
1.1.2.5. Racines.....	16
1.1.3 Biologie du riz	16
1.1.4 Exigences édaphoclimatiques du riz.....	18
1.1.5 Fertilisants et fertilisation du riz	18
1.1.5.1 Fertilisation miné	19
1.1.5.2 Fertilisation organo-minérale.....	19
1.1.5.3 Amendements organiques.....	20
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES	21
2.1. Présentation de la zone d`étude	22
2.2 Matériel végétal	23
2.3 Fertilisants utilisées	23
2.4 Méthodes utilisées	24
2.4.1 Dispositif expérimental	24
2.4.2. Conduite de l`essai.....	25
2.4.2.1. Préparation du sol et délimitation des parcelles.....	25
2.4.2.2. Le semis des graines	25
2.4.2.3. Apports des fertilisants	26
2.4.2.4. Entretien de la parcelle	26

2.4.3. Collecte des données.....	27
2.4.3.1. Paramètres physiologiques	27
2.4.3.2. Paramètres de croissance	27
2.4.3.3. Paramètres de production	29
2.5. Traitement et analyse de données	31
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION	33
3.1 RESULTATS	34
3.1.1 Paramètres de croissance des plants	34
3.1.1.1 Hauteur des plants	34
3.1.1.2 Nombre de feuilles	35
3.1.1.3 Diamètre au collet	36
3.1.2 Paramètres physiologiques des plantes	37
3.1.2.1 Dates 50 (%) maturité et 50 (%) floraison.....	37
3.1.2.2 Tallage et le taux de survie (%)	38
3.1.3 Paramètres de production.....	38
3.1.3.1 Rendement et ses composantes	38
3.1.3.2 Rendement paille et la biomasse aérienne	39
3.1.3.3 Indice de récolte	40
3.1.4 Relation entre les paramètres étudiés et les traitements appliqués	40
3.2. Discussion	44
3.2.1. Effet des types de fertilisation sur les paramètres de croissance.....	44
3.2.2 Effet des types de fertilisation sur les paramètres physiologiques	45
3.2.3. Effet des types de fertilisations sur les paramètres de production.....	45
Conclusion et perspectives.....	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	48

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP	: Analyse en Composantes Principales
ADRAO	: Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest
ANOVA	: Analyse de la Variance
ANSD	: Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
CEC	: Capacité d'Echange Cationique
CRA	: Centre de Recherche Agricole
DP	: Différenciation Paniculaire
ISRA	: Institution Sénégalaise de Recherche Agricole
INRAB	: Institut National des Recherches Agricoles du Bénin
JAS	: Jour Avant Semis
JICA	: Japan International Cooperation Agency
MO	: Matière Organique
NERICA	: Nouveau Riz pour l'Afrique
ONG	: Organisation Non Gouvernemental
PAP	: Plan d'Action Prioritaires
PASAD	: Programme Agricole pour la Souveraineté Alimentaire Durable
PMG	: Poids Milles Graines
PNAR	: Programme National d'Autosuffisance du Riz
PSE	: Plan Senegal Emergent
UNIFA	: Union des Industries de la Fertilisation

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Différentes parties d'un plant de riz,	15
Figure 2 : Panicule de riz	16
Figure 3: Les différentes phases de croissance et développement du riz	18
Figure 4: Localisation de la zone d'étude.....	22
Figure 5 : Grains de riz de la variété NERICA 8	23
Figure 6 : Dispositif expérimental.....	24
Figure 7 : Semis des grains de riz	25
Figure 8 : Poquets avec apports de compost (A), de fertilisant minéral (B) et de fertilisant organo minérale (C).....	26
Figure 9 : parcelles désherbées	27
Figure 10 : Epandage de l'insecticide CLORSBAN 480	27
Figure 11 : Comptage des nombre de feuilles par plants.....	28
Figure 12 : Mesure de la hauteur des plants	28
Figure 13 : Mesure du diamètre des plants au collet.....	29
Figure 14 : Grains d'une panicule	30
Figure 15 : Séchage(A), Pesage (B) des grains et de la Biomasse aérienne(B).....	31
Figure 16 : Hauteur moyenne des plants en fonction des traitements.....	34
Figure 17 : Variation du nombre feuilles produites par plant en fonction des traitements.....	35
Figure 18 : Variation de la date 50 % maturité (A) et de la date 50 % floraison (B) en fonction des traitements	37
Figure 19 : Variation du nombre de talles produites/plant (A) et du taux de survie (B) en fonction des traitements	38
Figure 20 : Variation du rendement paille (A) et de la biomasse aérienne (B) en fonction des traitements.....	39
Figure 21 : Variation de l'indice de récolte en fonction des traitements.....	40
Figure 22 : Typologies des traitements appliqués selon leur influence sur les paramètres agromorphologiques	41
Figure 23: Influence de la biomasse aérienne (A), du poids des panicules (B), du tallage (C) et de la production foliaire (D) sur le rendement grains du riz de plateau (NERICA 8).....	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composition chimique du compost utilisé	24
Tableau 2 : Variation de la hauteur moyenne des plants (cm) en fonction des traitements et des dates de mesure	35
Tableau 3 : Variation du nombre moyen de feuilles produites par plant en fonction des traitements et des dates de mesure	36
Tableau 4 : Variation du diamètre moyen au collet plantes (mm) en fonction des traitements et des dates de mesure moyenne des plantes	37
Tableau 5 : Variation des paramètres du rendement et ses composantes en fonction des traitements.....	39
Tableau 6 : Variation des valeurs propres et de l'inertie suivant les axes factoriels de l'ACP	40
Tableau 7 : Matrice de Pearson des variables étudiées	42

RESUME

Le riz (*Oryza sativa*. L) occupe une place centrale dans l'alimentation sénégalaise. Toutefois, sa production demeure vulnérable et fait face à des contraintes majeures dont la baisse de la fertilité des sols, et l'utilisation d'engrais de qualité non spécifique à la spéculation pratiquée et au type de sol limitant les rendements agricoles. La présente étude vise à contribuer à la mise au point de nouvelles formules d'engrais basées sur les carences en nutriments du sol et les besoins des cultures. Pour ce faire, un dispositif en blocs complets randomisés a été installé à la station de Djibelor. Il comprend un seul facteur (type de fertilisation) avec (5) traitement T0 (témoin absolu), T1 (formule vulgarisée (15N-15P-15K) + Urée), T2 (nouvelle formule (6N-20P-20K) + Urée), T3 (compost +nouvelle formule (6N-20P-20K) + Urée), T4 (compost). Les résultats ont montré que la formule vulgarisée T1(73,65±34,56 cm),(37,59±26,12 feuilles/plant), la nouvelle formule T2(70,41±34,66 cm),(38,38±26,85 feuilles/plant) et la nouvelle formule associée au compost T3(75,52±34,84 cm),(43,38±27,12 feuilles/plant) ont eu un effet statistiquement plus important sur les paramètres de croissance que celui enregistré pour le témoin T0(63,77±28,16 cm),(23,81±17,9 feuilles/plant) et le compost seul T4(62,29±34,15 cm),(22,49±14,16 feuilles/plant). Le traitement T4 (compost) a permis d'enregistrer la floraison (66 jas) et la maturité des grains (75,5 jas) les plus précoces et le taux de survie le plus élevé (79,9%). Quant au tallage, il est plus influencé positivement par le traitement T3 (nouvelle formule associée au compost) avec 13,92±1,70 talles/plant. Le rendement grains du riz n'a pas varié significativement en fonction des traitements mais le taux de talles fertiles a été plus influencé positivement par les traitements T1 (92,28±25,02%), T2 (92,14±9,33%) et T3 (88,57±4,8%). Le poids des panicules le plus important (2 246,31 ± 441,01) a été enregistré avec la nouvelle formule associée au compost (T3) et de nombre de grains par panicule le plus élevé (191,6 ± 33,28 grains/panicule) a été obtenu avec la formule vulgarisée (T1). Ainsi, il apparait que la nouvelle formule de l'engrais minérale associé au compost (T3) en plus d'induire des effets similaires à ceux de la formule vulgarisée (T1) sur les paramètres de croissance a permis d'enregistrer les meilleurs résultats en termes de tallage et de poids des panicules en Basse Casamance.

Mots clés : riz, formule d'engrais, croissance, production, Basse Casamance.

ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa* L.) occupies a central place in the Senegalese diet. However, its production remains vulnerable and faces major constraints, including declining soil fertility and the use of fertilizers that are not specifically adapted to the crop or soil type, limiting agricultural yields. This study aims to contribute to the development of new fertilizer formulas based on soil nutrient deficiencies and crop requirements. To achieve this, a randomized complete block design was implemented at the Djibelor station. It included a single factor (type of fertilization) with five treatments: T0 (absolute control), T1 (recommended formula: 15N-15P-15K + urea), T2 (new formula: 6N-20P-20K + urea), T3 (compost + new formula: 6N-20P-20K + urea), and T4 (compost). The results showed that the recommended formula T1 (73.65 ± 34.56 cm, 37.59 ± 26.12 leaves/plant), the new formula T2 (70.41 ± 34.66 cm, 38.38 ± 26.85 leaves/plant), and the new formula combined with compost T3 (75.52 ± 34.84 cm, 43.38 ± 27.12 leaves/plant) had a statistically greater effect on growth parameters compared to the control T0 (63.77 ± 28.16 cm, 23.81 ± 17.9 leaves/plant) and compost alone T4 (62.29 ± 34.15 cm, 22.49 ± 14.16 leaves/plant). Treatment T4 (compost) resulted in the earliest flowering (66 days after sowing) and grain maturity (75.5 days after sowing) and the highest survival rate (79.9%). Tillering was most positively influenced by treatment T3 (new formula combined with compost) with 13.92 ± 1.70 tillers/plant. Rice grain yield did not vary significantly across treatments, but the proportion of fertile tillers was more positively affected by treatments T1 ($92.28 \pm 25.02\%$), T2 ($92.14 \pm 9.33\%$), and T3 ($88.57 \pm 4.8\%$). The highest panicle weight ($2,246.31 \pm 441.01$ g) was recorded with the new formula combined with compost (T3), and the highest number of grains per panicle (191.6 ± 33.28 grains/panicle) was obtained with the recommended formula (T1). Thus, the new mineral fertilizer formula combined with compost (T3), in addition to producing effects similar to those of the recommended formula (T1) on growth parameters, resulted in the best outcomes in terms of tillering and panicle weight in Basse Casamance.

Keywords: rice, fertilizer formula, growth, production, Basse Casamance

INTRODUCTION

Le riz (*Oryza sativa*) est une denrée prépondérante dans l'alimentation sénégalaise tant en milieu urbain qu'en milieu rural (Kite, 1993 ; Kelly et al., 1992). Le riz demeure la culture dominante, représentant 38 % de la production totale avec plus de 1,5 million de tonnes parmi les autres céréales selon ANSD (2024). La consommation par habitant, estimée à 87,6kg/an (Niang et al. 2017), place le pays parmi les plus gros consommateurs d'Afrique de l'Ouest. Le secteur rizicole dans lequel s'activent 45,6% des ménages (ANSD, 2023) est ainsi une des priorités des politiques agricoles (PAP 3 du PSE, PASAD, etc.) pour l'atteinte de la souveraineté alimentaire. La Casamance représentant 57% de la superficie emblavée et 36% de la production totale, est l'une des principales zones de production de riz pluvial (ANSD, 2017). Le développement de la riziculture dans cette région est l'une des mesures phares par laquelle les autorités étatiques et les ONG comptent s'appuyer pour améliorer la production nationale (PNAR, 2009 ; ISRA, 2012).

Toutefois, la culture du riz demeure vulnérable et fait face à des contraintes majeures relevant 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, limitant les rendements agricoles. Pour pallier à ce problème de baisse de fertilité des sols l'IFDC (centre international pour le développement des engrais) fait référence au *le projet « Feed the Future Senegal Dundël Suuf »* dans le cadre de la gestion intégrée de la fertilité des sols, pour évaluer le niveau de fertilité des sols au Sénégal afin de développer de nouvelles formules d'engrais adaptées aux cultures et aux zones agroécologiques. Ces nouvelles formules d'engrais ont montré globalement des effets positifs sur les rendements du riz, de l'arachide et du mil lors des tests de l'hivernage 2022-2023. Dans le processus de validation de ces acquis, les essais ont été reconduits pendant l'hivernage 2023-2024 en station sur 11 sites et en milieu paysan sur 42 sites soit un total de 53 sites.

Ce travail qui entre dans le cadre de ce processus a pour objectif global de contribuer à la mise au point de nouvelles formules d'engrais basées sur les carences en nutriments du sol et les besoins des cultures.

De manière spécifique, il s'agit d'évaluer l'effet de différents types de fertilisation sur les performances agronomiques du riz en basse Casamance.

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

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Généralités sur le riz

1.1.1 Origine et systématique du riz

Le riz est une graminée annuelle, autogame, monocotylédone du groupe des oryzées, cultivé dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes. Il appartient au genre *Oryza* classé dans la famille des poacées (Guignard, 2001). Il comprend 23 espèces dont deux sont cultivées. Ces dernières sont *Oryza sativa* L., la plus cultivée et originaire d'Asie et *Oryza glaberrima* Steud. , ou riz de Casamance, originaire d'Afrique de l'Ouest (Adanabou, 2013). Aujourd'hui, des variétés hybrides interspécifiques appelées « NERICA », issues du croisement de ces deux espèces héritent des qualités des deux parents (Eurêka, 2005, Ouattara, 2014). Ces qualités sont : un rendement potentiel élevé, caractéristique de *Oryza sativa* et une capacité à pousser dans des conditions de faible intrants en ressources, caractéristique de *Oryza glaberrima*. Il existe deux types de variétés NERICA : les NERICA de plateaux et les NERICA de bas-fonds (JICA, 2011).

1.1.2 Caractéristiques botaniques

Le riz est constitué d'une tige ronde et creuse subdivisée en inter nœuds par des nœuds, des feuilles plates et lancéolées, une panicule terminale, et des racines dans sa partie inférieure (**Figure 1**).

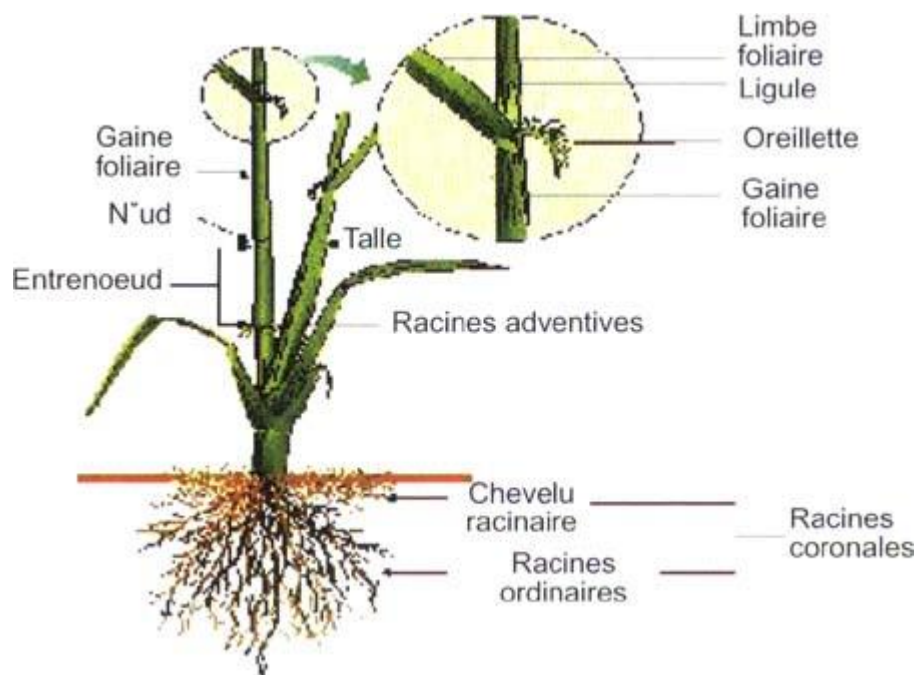


Figure 1 : Différentes parties d'un plant de riz.

Source: guide d'identification des contraintes de terrain à la production de riz

1.1.2.1 La tige

La tige du riz, appelée chaume est ronde, creuse et articulée, garnie de nœuds et d'entre-nœuds dans un ordre successif avec une surface lisse, typique des graminées (Lacharme, 2001). Plus on s'éloigne de la base de la plante plus la distance de l'entre-nœud est importante et proportionnellement, plus cette distance est courte mieux la plante résiste à la verse (Wopereis et al, 2008).

1.1.2.2 Les feuilles

Les feuilles sont sessiles et plates en forme de lame. Elle se développe alternativement sur le chaume, une à chaque nœud. La feuille d'une plante de riz est constituée de deux parties : la gaine foliaire et le limbe foliaire. La gaine foliaire enveloppe totalement l'entre-nœud et dans certains cas le nœud suivant (Gaoussou, 2008). La dernière feuille sous la panicule est appelée feuille paniculaire ou feuille drapeau. La première feuille à la base de la tige principale est le prophyllum. A la base de la feuille se trouve l'auricule, une sorte d'appendice en forme de croissant, garnie de poils. Et juste à côté se trouve la ligule, une structure de forme triangulaire dont la longueur varie selon la variété (Wopereis et al. 2008).

1.1.2.3 La fleur

Le riz est une plante autogame, la fécondation est assurée par le pollen de la fleur elle-même. La fleur renferme donc les organes reproducteurs mâles et femelles à savoir six étamines portant chacune une anthère contenant le pollen et un pistil. Les fleurs sont disposées à l'extrémité de certaines tiges, formant une belle panicule (Hubert, 2003).

1.1.2.4. La panicule

Le terme « panicule » est synonyme de l'inflorescence des angiospermes et est une appellation propre aux graminées. Les panicules des plants de riz sont caractérisées par un rachis long et ramifié. Ils appartiennent au groupe de panicule également connus sous le nom de composé

racémique (Makino 1961). Les branches de la panicule sont appelées branches du rachis et les branches sur chaque nœud du rachis sont appelées « branche primaire du rachis ». De même, ceux issus de la branche primaire du rachis sont appelés « branche secondaire du rachis ». Une panicule de riz a 8-15 branches primaires du rachis et les branches secondaires du rachis sont formées à partir des nœuds présents à la base des branches primaires du rachis (Nakamura 2011) (Figure 2).

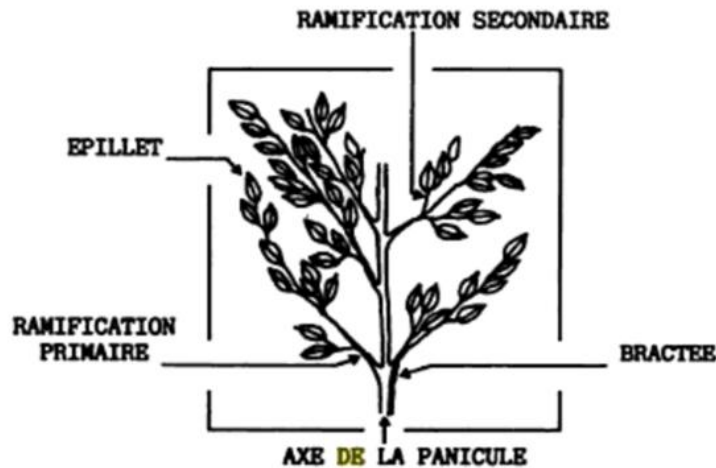


Figure 2 : Panicule de riz

1.1.2.5. Racines

Le système racinaire est fasciculé comme chez la plupart des graminées (Wopereis et al, 2008). Ces racines sont issues du développement successif de trois types de racines : la racine séminale, celles de la mésocotyle et les racines nodales (INRAB, 2014).

1.1.3 Biologie du riz

En fonction des zones agro écologiques de production, le riz est classé comme « riz irrigué », « riz pluvial bas-fond », « riz pluvial de plateau ». Le riz de bas-fonds est cultivé dans les rizières et le riz pluvial est cultivé sur les plateaux (terre ferme). Le cycle végétatif des NERICA est caractéristique des variétés à maturité précoce. C'est des variétés à panicules lourdes. La durée de la période de croissance des variétés de NERICA dépend des paramètres comme la variété, les techniques culturales, l'agro-environnement, notamment la température etc. (JICA, 2011). Le cycle de développement du riz comporte trois phases (Figure 3) ;

❖ Phase végétative

Elle correspond à la période au cours de laquelle le jeune plant de riz dépend uniquement des nutriments de l'endosperme. Elle est marquée par le caractère autotrophe du plant de riz et caractérisée par la germination des grains, le tallage actif, l'enracinement, l'allongement de la hauteur de la plante, et l'apparition de feuilles à des intervalles précis (Maruyama, 1995). La plupart des pratiques culturales s'opère pendant cette phase, notamment la lutte contre les mauvaises herbes (sarclage ou traitement), la fertilisation, la lutte contre les insectes et les maladies (Ouattara, 2014).

❖ **Phase reproductive**

Elle 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 l'apparition de la panicule, le développement des épillets et des organes reproducteurs. L'étape de différenciation paniculaire (DP), qui est le début de la phase reproductive peut être identifiée par l'observation morphologique dans le champ. A ce stade, les feuilles les plus longues apparaissent au-dessus de la canopée dans une parcelle ; cette phase est très sensible aux températures basses, au déficit hydrique et à la salinité qui peuvent occasionner la stérilité des organes reproducteurs des épillets, qui se traduit par des grains vides (ADRAO, 1995)

❖ **Phase de maturité**

Elle 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 quelle que 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).

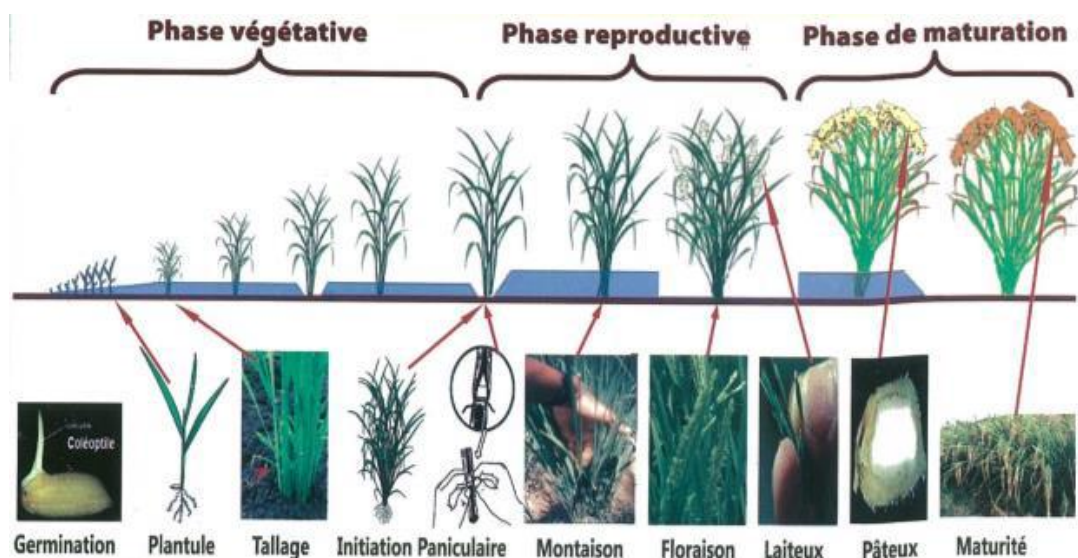


Figure 3: les différentes phases de croissance et développement du riz,

Source : (ISRA, 2012)

1.1.4 Exigences édaphoclimatiques du riz

La température optimale requise pour un bon développement végétatif du riz est comprise entre 30°C et 35°C. Les besoins en eau du riz varient en fonction des stades phénologiques et des conditions édaphiques. Les besoins en eau du riz pluvial dépendent du cycle de la variété cultivée et des caractéristiques physiques du sol notamment la texture, la porosité, et l'épaisseur de la couche à saturer (Kambou, 2008). 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). Du point de vue édaphique, le riz est assez plastique (Dembélé, 2005), il s'adapte à une large gamme de sols du point de vue des propriétés physiques et chimiques. Cependant il a une certaine préférence pour les sols lourds à faible perte par percolation, avec un pH optimum variant entre 5,5 à 6 (Lacharme, 2001). Pour un rendement optimal, l'amélioration de la composition chimique du sol—à travers un apport régulier et rationnel d'éléments indispensables à la nutrition du riz (azote, potassium, phosphore, sodium, calcium, etc.), revêt un caractère important. En effet, la fertilisation augmente la vigueur, le rendement et la qualité nutritionnelle du riz (ISRA, 2012).

1.1.5 Fertilisants et fertilisation du riz

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

1.1.5.1 Fertilisation minérale

Le riz a besoin des éléments minéraux notamment l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K). Le soufre, le calcium, le magnésium, le fer sont également utilisés, mais en moindre quantité comparés à l'azote, le phosphore et le potassium. L'azote est l'élément essentiel à la phase végétative de la plante (Lacharme, 2001 et Raemaekers, 2001) car il favorise le tallage et permet une croissance vigoureuse des plants. Le phosphore favorise la croissance du système racinaire, tandis que le potassium permet une bonne économie de l'eau dans les tissus de la plante et favorise une résistance aux maladies et à la verse (Lacharme, 2001 et PNR, 1993). Les engrais minéraux doivent être apportés à la fois en fumures de fond et en couverture. Lorsqu'il s'agit de la fumure de fond, l'apport se fait au moment du semis avec le NPK à raison de 100 à 200 kg/ha. En fumure de couverture l'urée est utilisée. L'apport dans ce cas, est effectué en deux ou trois fractions correspondant chacune à une phase précise de la croissance du riz.

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

1.1.5.2 Fertilisation organo-minérale

Les engrais organo-minéraux sont un mélange de matières organiques d'origine animale et/ou végétale et de fertilisation minérale. Ils doivent contenir au moins 1% d'azote organique animale et ou végétale (UNIFA, 2008). La fertilisation minérale n'est efficace que s'il existe dans le sol un taux minimum de matière organique (Akanza et Yoro, 2003). Les engrais chimiques ont un effet immédiat sur les plantes alors que les engrais organiques doivent d'abord se décomposer en substances nutritives avant de pouvoir être utilisés (Ndione, 2020). Ces fertilisants peuvent être simples ou composés, acceptant diverses associations, et notamment l'azote, le phosphore et le potasse (NPK). L'avantage de ces types d'engrais est leur facilité d'application, leur

capacité de maintenir l'équilibre des richesses du sol, leur capacité d'améliorer l'aération et le drainage du sol, leur capacité de rétention d'eau et de modification d'une acidité du sol.

1.1.5.3 Amendements organiques

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

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

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

❖ Le compost

Le compost est un produit organique résultant de la dégradation en aérobiose des composés organiques d'origine animale et/ou végétale sous l'action des micro-organismes. Le compost constitue un bon engrais qui permet une augmentation des récoltes des plantes cultivées, et améliore les propriétés physicochimiques du sol (Mrabet et Belghyti, 2011). En effet, il soutient l'activité biologique du sol. Une fois dans le sol, le compost est transformé en matière organique fine et en humus par l'action des microorganismes. Une partie de l'humus est directement décomposé en dioxyde de carbone et en substances nutritives pour la plante. Ce processus s'appelle la minéralisation. Cette dernière libère des substances nutritives qui peuvent être directement assimilées par les racines des plantes. Plusieurs études faites sur diverses spéculations ont montré que le compost permettrait d'augmenter les rendements des cultures (Attrais *et al.*, 2005 ; Aoun *et al.*, 2008 ; Mouria *et al.*, 2010 ; Mrabet et Belghyti, 2011).

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été réalisée en 2024 au Centre de Recherches Agricoles (CRA) de Djibelor. Ce centre qui a pour coordonnées géographiques 12°33'13'' Nord et 16°30'00'' Ouest, est situé dans le village de Djibelor, commune de Niaguiss, région de Ziguinchor (Figure 4).

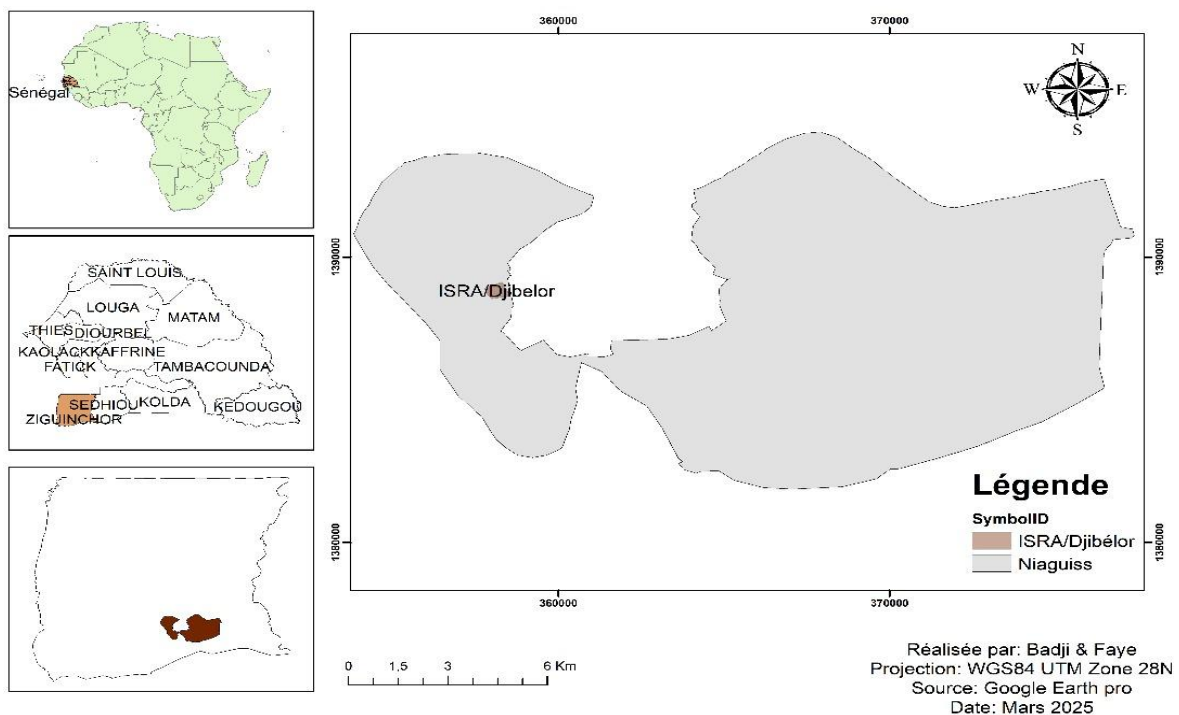


Figure 4: Localisation de la zone d'étude

Le climat de cette zone est du type soudanien côtier Sud (Sagna, 2005). Il est caractérisé par l'existence de deux saisons : une saison sèche de 7 à 8 mois qui s'étale de novembre à mai et

une saison pluvieuse qui dure 4 à 5 mois (de juin à octobre). La température moyenne annuelle est d'environ 27 °C (période entre 1984 et 2012) avec des moyennes minimale et maximale de 15,5 et 37 °C respectivement. Ces dernières sont enregistrées respectivement au mois de janvier et avril. La pluviométrie moyenne annuelle est estimée 1316mm (Badiane et *al.*, 2019).

Le relief relativement plat de la Basse Casamance présente plusieurs types de sols répartis sur deux grands ensembles : le plateau sur le domaine du Continental Terminal, et les terres inondables du domaine fluvio-marin. Le site est situé dans les terres du plateau continental, occupé par les habitations et les boisements naturels, avec un sol de type ferrugineux tropical lessivé (Charreau and Fauck, 1967).

2.2 Matériel végétal

La variété utilisée lors de cette expérience est NERICA 8 caractérisée par une hauteur réduite, une coloration dorée des grains et un nombre élevé de talles (Figure 5). Il est difficile de le distinguer de NERICA 3 et NERICA 4 du point de vue couleur et forme des grains. C'est une variété de riz de plateau tolérante à la sécheresse avec une capacité de production de 80 à 110 grains par panicule (JICA, 2009).



Figure 5 : Grains de riz de la variété NERICA 8

2.3 Fertilisants utilisées

Deux types de fertilisants ont été utilisées dans le cadre de cette étude :

- L'engrais minéral constitué du 15-15-15 ou ancienne formule, du 6-20-20 ou nouvelle formule et de l'urée 46N-0P-0K
- L'engrais organique qui est le compost provenant du centre de recherches agricoles de Djibelor et dont la composition chimique est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Composition chimique du compost utilisé

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

2.4 Méthodes utilisées

2.4.1 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est celui de Fisher ou en blocs complets randomisés. Le facteur étudié est le type de fertilisation organo minérale avec 5 traitements et quatre répétitions. La distance entre les blocs est de 2m et celle entre les parcelles élémentaires 1,5m. Chaque parcelle élémentaire couvre une superficie de 6m² avec 3m de longueur et 2m de largeur, la superficie occupé par un poquet est de 0,0625 m² (0,25*0,25) dans la parcelle soit une densité de poquets de 96 poquets/parcelle élémentaire et 16 poquets/m². La superficie du dispositif est de 294 m² avec 21m de longueur et 14m de largeur divisé en 4 blocs (**Figure 6**).

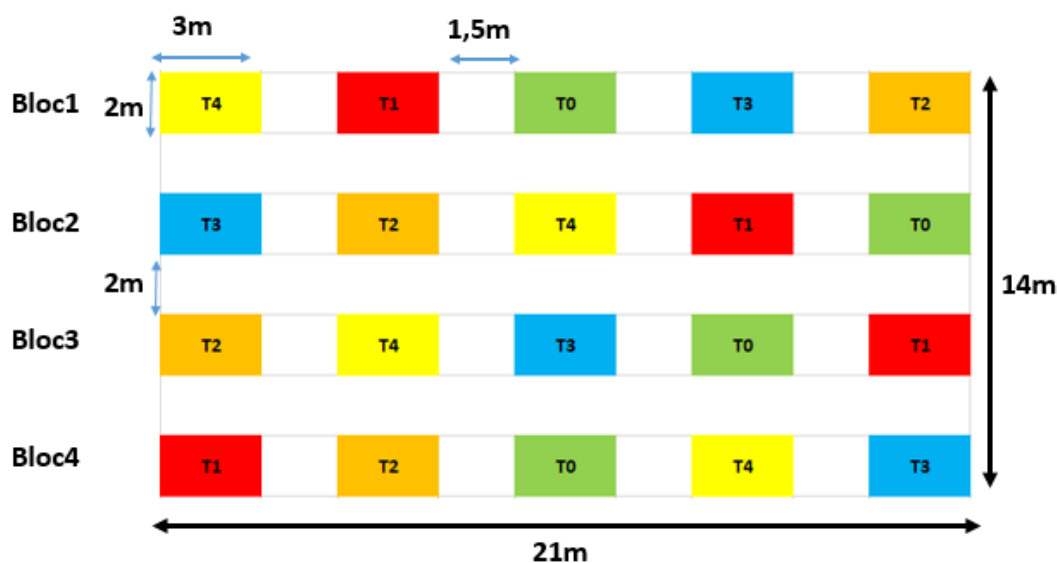


Figure 6 : Dispositif expérimental

Les différents traitements sont obtenus à partir des combinaisons suivantes :

T0 : Témoin absolu (0 kg/ha, 00-00-00 NPK)

T1 : 200 kg/ha de NPK (15N-15P-15K) en engrais de fond+ 150 Kg/ha Urée (46N-0P-0K) application au tallage (100 kg/ha) et initiation paniculaire (50kg/ha)

T2 : 200 kg/ha NPK (6N-20P-20K) en engrais de fond+ 100 Kg/ha Urée (46N-0P-0K) application au tallage (50 kg/ha) et initiation paniculaire (50kg/ha)

T3 : 5t/ha d'engrais organique en fond +200 kg/ha NPK (6N-20P-20K) en engrais de fond + 100 Kg/ha Urée (46N-0P-0K) application au tallage (50 kg/ha) et initiation paniculaire (50kg/ha)

T4 : 5t/ha d'engrais organique en fond

2.4.2. Conduite de l'essai

2.4.2.1. Préparation du sol et délimitation des parcelles

L'essai a été mis en place durant la campagne hivernale 2023-2024. Les travaux ont débuté avec la préparation du sol consistant à nettoyer, défricher, délimiter, labourer et niveler le sol de la parcelle. La délimitation des parcelles élémentaires a été réalisée avec la méthode 3-4-5 à l'aide d'une ficelle, d'un ruban mètre et des piquets.

2.4.2.2. Le semis des grains

Le semis des graines a été effectué le 07/08/2024 à une profondeur de 3-4cm à raison de 3 grains par poquets et les plants ont été démariés le 14/08/2024 (Figure7).



Figure 7 : Semis des grains de riz

2.4.2.3. Apports des fertilisants

Pour l'apport des fertilisants, une première application d'engrais de fond à base de fertilisant minéral ou organique (compost) a été effectuée le 20/08/2024 soit 14 jours après semis. Les doses appliquées sont 200Kg/ha de 15N-15P-15K, 200kg/ha de 6N-20P-20K et 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 60g/6m² (surface parcelle élémentaire) et la seconde à l'initiation paniculaire avec 50 kg/ha soit 30g/6m² (engrais de couverture). Pour le compost la dose recommandée est 5t/ha (Figure 8).



Figure 8 : poquets avec apports de compost (A), de fertilisant minéral (B) et de fertilisant organo minérale (C)

2.4.2.4. Entretien de la parcelle

Des désherbages manuels ont été effectués au besoin pour maintenir les plants en situation de non compétition avec les adventices (Figure 9). Ensuite un traitement préventif à l'aide d'un insecticide du nom CLORSBAN 480 a été effectué pour lutter contre l'attaque des termites (Figure 10).



Figure 9 : parcelles désherbées



Figure 10 : épandage de l'insecticide CLORSBAN 480

2.4.3. Collecte des données

2.4.3.1. Paramètres physiologiques

❖ Taux de survie

Le taux de survie des plants a été évalué en dénombrant les plants qui ont survécus 15 jours après démariage dans chaque parcelle élémentaire. Ainsi, le taux de survie a été calculé à partir du rapport entre le nombre de plantes qui ont survécus et le nombre de plants après démariage.

❖ Tallage

Il a été évalué par un dénombrement des talles produites sur 10 pieds pris au hasard dans le carré du rendement de chaque parcelle élémentaire au 60^{ème} jour 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.

❖ Date 50% épiaison

La date 50% épiaison a été évaluée à partir de la date à laquelle 50% des plants ont leurs inflorescences dégagées de la gaine de la dernière feuille.

❖ Date 50% maturité

Elle correspond à la date à laquelle 50% des grains ont présenté un changement de couleur passant du vert au jaune or, et 1/3 du rachis du vert au marron dans chaque parcelle élémentaire.

2.4.3.2. Paramètres de croissance

❖ Nombre de feuilles

La production foliaire a été évaluée par le dénombrement des feuilles des plants sur 10 pieds dans le carré de rendement dans chaque parcelle élémentaire tous les 15 jours après semis (Figure 11).



Figure 11 : Comptage du nombre de feuilles par plants

❖ Hauteurs des plants

La hauteur des plants a été mesurée sur 10 pieds dans le carré du rendement de chaque parcelle élémentaire tous les 15 jours après semis à l'aide d'un règle graduée et d'un ruban mètre (Figure 12).



Figure 12 : Mesure de la hauteur des plants

❖ Diamètre au collet des plants

Le diamètre au collet des plants a été mesuré sur 10 pieds choisis au hasard dans le carré de rendement de chaque parcelle élémentaire au 75^{ème} jas et au 90^{ème} jas à l'aide d'un pied à coulisse (Figure 13).



Figure 13 : Mesure du diamètre des plants au collet

2.4.3.3. Paramètres de production

❖ Taux de talles fertiles

Dans chaque carré de rendement, le nombre total de talles et le nombre de panicules par plant a été évalué sur 10 pieds. Et le taux moyen de talles fertiles a été évalué à partir du rapport entre le nombre de panicules et le nombre de talles à partir de la formule suivante :

$$\mathbf{TTF=NP*100/NTT}$$

Avec TTF = Taux de talles fertiles ; NP = nombre de panicules et NTT= Nombre Total de Talles

❖ Taux de stérilité

Le taux de stérilité (TS) des graines a été calculé après la récolte en choisissant au hasard sur chaque parcelle élémentaire 10 pieds dans le carré du rendement. Le nombre d'épillets total (NET) et le nombre d'épillets vides (NEV) par traitement ont été comptés afin de déterminer ce taux par la formule ci-après :

$$TS = \frac{NEV * 100}{NET}$$

❖ Poids des panicules/m²

Il a été déterminé par le pesage des panicules sur chaque carré de rendement de chaque traitement à l'aide de balance électronique.

❖ Nombre de grains/panicule

Il été déterminer par le comptage des grains sur 5 panicules pris au hasard sur chaque traitement (Figure 14).



Figure 14 : grains d'une panicule

❖ **Rendement grains et paille**

Le poids des grains et de la paille ont été évalués après égrenage 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 produite par parcelle utile ont permis de calculer le rendement grains (RDTG) en kg/ha et le rendement paille (RDTP) en kg/ha à l'aide des formules suivantes :

RDTG : POIDS GRAIN*10000/SURFACE PARCELLE UTILE

RDTP : POIDS PAILLE *10000/SURFACE PARCELLE UTILE

❖ **Biomasse aérienne**

Elle a été obtenue après séchage à l'air libre (Figure 15A) et pesage de la paille et des grains (Figure 15B) pour chaque traitement à l'aide d'une balance électronique de précision 0,001.

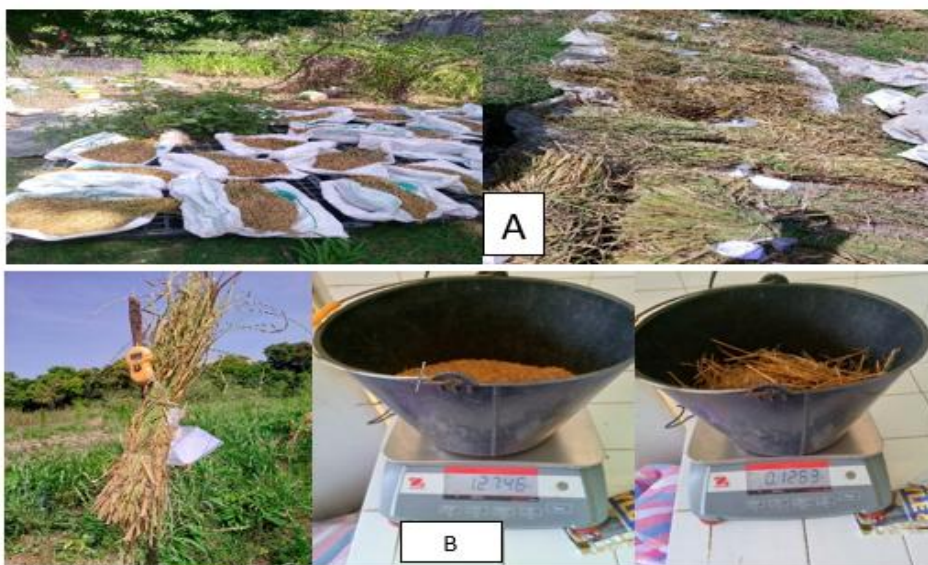


Figure 15 : Séchage(A), Pesage (B) des grains et de la Biomasse aérienne(B)

❖ **Poids de 1000 grains**

Le poids des 1000 grains a été obtenu après un comptage et pesage de quatre échantillons de 1000 grains par carré de rendement à l'aide d'une balance électronique de précision 0,001.

❖ **Indice de récolte**

L'indice de récolte a été calculé suivant la formule ci-après

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

Avec RDTG =rendement total des grains ; RDTP=rendement total en paille

L'Indice de récolte varie entre 0 et 1. Lorsqu'il est inférieur à 0,5 ; cela signifie qu'il y'a plus de production paille que de grains. Lorsqu'il est supérieur à 0,5 cela signifie qu'il y'a plus de production de grains que de paille.

2.5. Traitement et analyse de 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 moyennes des 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 agromorphologiques du riz de plateau en station.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

3.1.1 Paramètres de croissance des plants

3.1.1.1 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. En effet, les traitements T1 ($73,65 \pm 34,56$ cm), T2 ($70,41 \pm 34,66$ cm) et T3 ($75,52 \pm 34,84$ cm) ont enregistré les hauteurs les plus élevées. Les plus faibles hauteurs ont été notés avec les traitements T0 et T4 avec $63,77 \pm 28,16$ cm et $62,29 \pm 34,15$ cm respectivement (Figure 16).

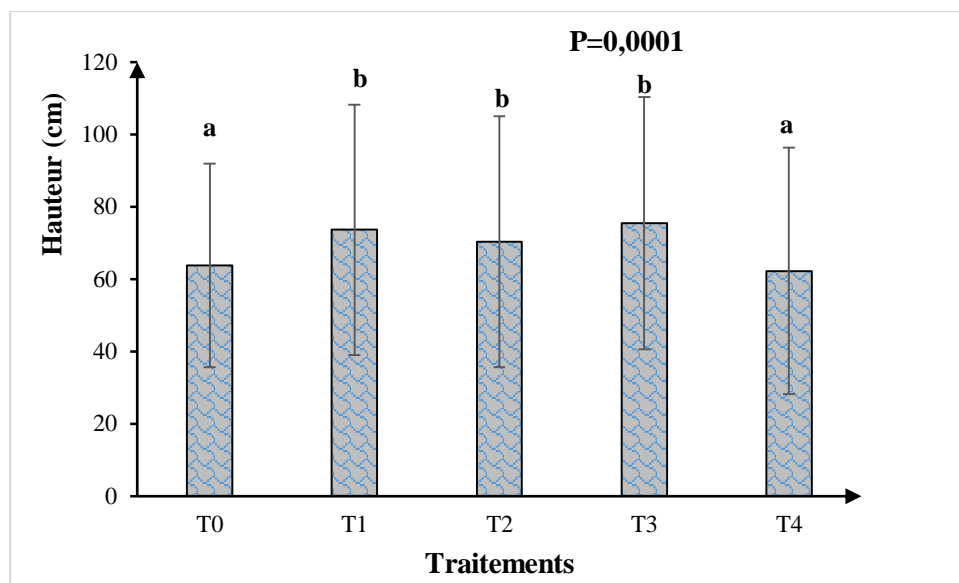


Figure 16 : Hauteur moyenne des plants en fonction des traitements

L'analyse de la variation de la hauteur en fonction des traitements et des dates de mesure a montré des différences hautement significatives au 30^{es} jas ($p=0,001$) et au 75^{es} jas ($p=0,002$) et une différence significative au 45^{es} jas ($p=0,03$).

En effet, au 30^{es} jas le traitement T4 ($23,47 \pm 4,41$ cm) a enregistré une hauteur des plants statistiquement plus faible que celle de tous les autres traitements qui ne présentent aucune différence significative entre eux (Tableau 2).

Au 45^{es} jas, les hauteurs moyennes des plants les plus élevées ont été notées au niveau du traitement T3 (nouvelle formule) avec $85,93 \pm 5,17$ cm et les hauteurs les plus faibles ont été enregistrées avec les traitements T0 et T2 (Tableau 2).

A la dernière mesure (75^{es} jas), les hauteurs des plants les plus élevées ont été observées au niveau des traitements T1, T2 et T3 avec $113,13 \pm 10,32$; $113,73 \pm 4,25$ et $114,08 \pm 7,59$ cm respectivement (Tableau 2).

Tableau 2 : Variation de la hauteur moyenne des plants (cm) en fonction des traitements et des dates de mesure

Traitements	15jas	30jas	45jas	60jas	75jas
T0	22,88±1,49a	44,43±9,06b	69,85±8,29a	86,78±6,16a	94,9±7,25a
T1	22,8±4,56a	53±7,42b	79,98±6,82ab	99,35±17,5a	113,13±10,32b
T2	22,35±2,89a	49,6±11,72b	68,68±14,75a	97,78±7,95a	113,73±4,25b
T3	25,33±2,05a	44,09±7,47b	85,93±5,17b	103,18±10,33a	114,08±7,59b
T4	23,47±4,41a	23,47±4,41a	75,61±16,32ab	91,8±12,86a	97,08±7,63a
Moy	23,36	43,92	75,99	95,78	106,58
P. value	0,74	0,001	0,03	0,33	0,002

3.1.1.2 Nombre de feuilles

L'analyse statistique a révélé une variation très hautement significative ($p=0,0001$) du nombre de feuilles produites par plant en fonction des traitements. En effet, les traitements T1 ($37,59\pm 26,12$ feuilles/plant) ; T2 ($38,38\pm 26,85$ feuilles/plant) et T3 ($43,38\pm 27,12$ feuilles/plant) ont enregistré le nombre de feuilles produites/plant le plus élevé. Les plus faibles valeurs en termes de production foliaire ont été obtenues au niveau des traitements T0 et T4 avec $23,81\pm 17,9$ feuilles/plant et $22,49\pm 14,16$ feuilles/plant respectivement (Figure 17).

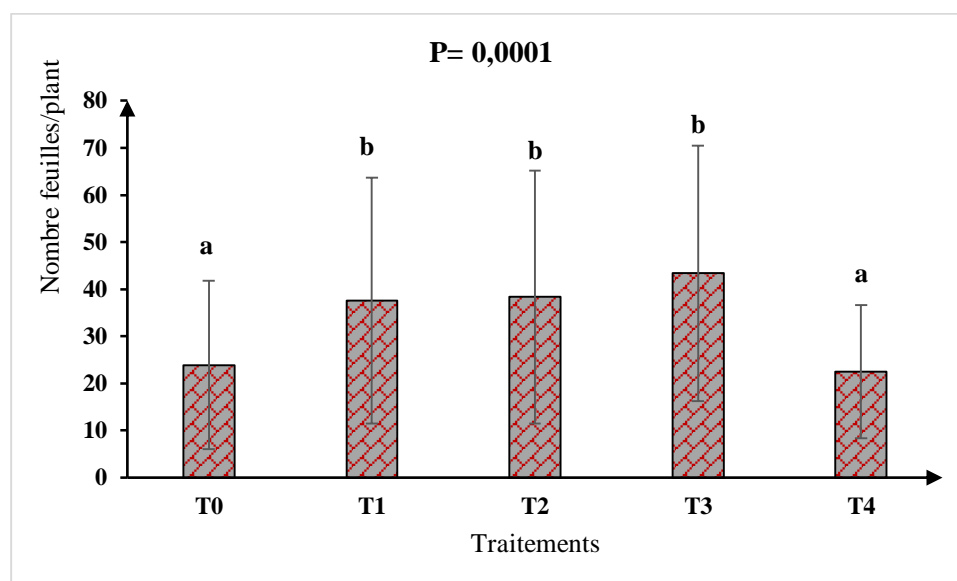


Figure 17 : Variation du nombre feuilles produites par plant en fonction des traitements

Considérant la variation du nombre de feuilles produites par plant en fonction des traitements et des dates de mesure, l'ANOVA a révélé un effet significatif au 30^{ème} jas (P= 0,01), au 45^{ème} jas (p=0,03), au 60^{ème} jas (p=0,01) et au 75^{ème} jas (P= 0,008).

En effet, au 30^{ème} et 45^{ème} jas, les meilleures performances en termes de production foliaire ont été enregistrées au niveau du traitement T3 avec 22,1±3,45 et 55,27±8,07 feuilles/plant respectivement. Et la plus faible performance au niveau du traitement T4 avec 11,42±3,44 et 29,42±7,71 feuilles/plant respectivement (Tableau 3).

Au 60^{ème} et 75^{ème} jas, la production foliaire a été plus importante avec les traitements T1, T2 et T3 avec respectivement 57,5±20,01; 58,72±12,86 et 68,42±6,25 feuilles/plant au 60^{ème} jas et 62,75±18,32 ; 62,45±12,72 et 67,02±10,33 feuilles/plant au 75^{ème} jas (Tableau 3).

Tableau 3 : Variation du nombre moyen de feuilles produites par plant en fonction des traitements et des dates de mesure

Traitements	15JAS	30JAS	45JAS	60JAS	75JAS
T0	3,57±0,12a	13,5±5,93ab	29,62±14,28a	35,05±19,26a	37,8±16,08a
T1	4,12±0,65a	18,95±5,30bc	44,62±12,80ab	57,5±20,01b	62,75±18,32b
T2	4,15±0,40a	19,3±2,99bc	47,3±27,44ab	58,72±12,86b	62,45±12,72b
T3	4,05±0,65a	22,1±3,45c	55,27±8,07b	68,42±6,25b	67,02±10,33b
T4	3,8±0,21a	11,42±3,44a	29,42±7,71a	33,87±8,75a	33,92±9,04a
Moyenne	3,94	17,05	41,25	50,71	52,79
P.value	0,38	0,01	0,03	0,01	0,008

3.1.1.3 Diamètre au collet

Il est apparu à travers l'analyse statistique une variation significative (p=0,03) du diamètre au collet des plants en fonction des traitements au 75^{ème} jas et non significative au 90^{ème} jas (p=0,15).

En effet, au 75^{ème} jas, les diamètres au collet des plants les plus grands ont été observés avec les traitements T1, T2 et T3 avec 7,61±0,64 ; 7,6±0,15 et 7,77±0,41 mm respectivement. Les diamètres au collet les plus faibles ont été enregistrés au niveau des traitements T0 et T4 avec 6,58±0,60 et 6,99±0,67 mm respectivement (Tableau 4).

Tableau 4 : Variation du diamètre moyen au collet plantes (mm) en fonction des traitements et des dates de mesure moyenne des plantes

Traitements	75JAS	90JAS
T0	6,58±0,60a	7,31±0,79a
T1	7,61±0,64b	8,43±0,82a
T2	7,6±0,15b	8,45±0,24a
T3	7,77±0,41b	8,32±0,86a
T4	6,99±0,67ab	7,57±0,91a
Moyenne	7,31	8,02
P.value	0,03	0,15

3.1.2 Paramètres physiologiques des plantes

3.1.2.1 Dates 50 (%) maturité et 50 (%) floraison

Il apparaît à travers l'analyse statistique une variation hautement significative ($p=0,007$) de la date 50% floraison (jas) et significative ($p=0,03$) de la date 50% maturité en fonction des traitements (Figure 18).

En effet, la maturité du riz a été plus précoce avec le traitement T4 ($78,5\pm 1$ jas) et plus tardive avec les traitements T1 ($82,25\pm 1,5$ jas) et T3 ($82,25\pm 1,5$ jas) (Figure 18A).

Quant à la date 50% floraison, elle a aussi été plus précoce au niveau du traitement T4 (66 jas) et plus tardive au niveau du traitement T1 avec $71,5\pm 1$ jas (Figure 18B).

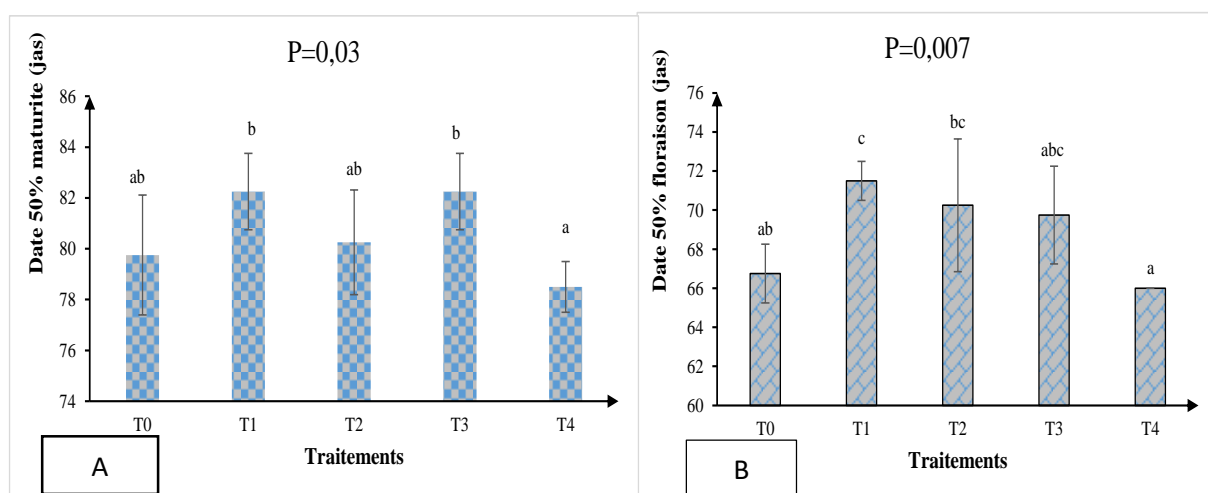


Figure 18 : Variation de la date 50 % maturité (A) et de la date 50 % floraison (B) en fonction des traitements

3.1.2.2 Tallage et le taux de survie (%)

L'analyse statistique a révélé un effet hautement significatif des traitements sur le tallage ($p=0,009$) et sur le taux de survie ($p=0,003$) des plants (Figure 19).

En effet, le tallage des plants de riz a été plus élevé avec le traitement T3 ($13,92\pm 1,70$ talles/plant) et plus faible au niveau des traitements T0 et T4 avec $6,75\pm 3,67$ et $6,35\pm 2,57$ talles/plant respectivement (Figure 19A).

Concernant le taux de survie des plants, il a été plus élevé avec les traitements- T0 ($80,93\pm 16,9$ %) et T4 ($79,90\pm 11,99$ %) comparés aux autres traitements qui ne présentent aucune différence significative entre eux (Figure 19B).

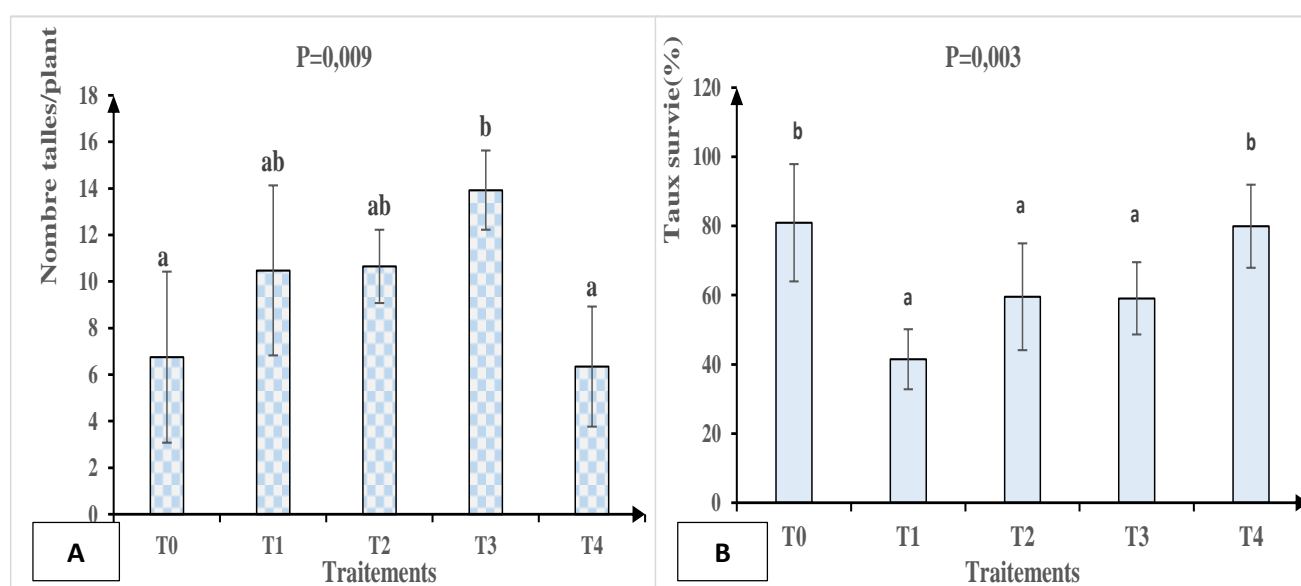


Figure 19 : Variation du nombre de talles produites/plant (A) et du taux de survie (B) en fonction des traitements

3.1.3 Paramètres de production

3.1.3.1 Rendement et ses composantes

L'analyse de la variance n'a révélé aucun effet significatif des traitements sur le taux de stérilité ($p=0,55$), le rendement grains ($p=0,37$) et le PMG ($p=0,76$). Par contre, elle a révélé un effet significatif des traitements sur le taux de talles fertiles ($p=0,04$), le poids des panicules ($p=0,04$) et le nombre de grains/panicule ($p=0,03$).

En effet, les plants des traitements T1 ($92,28\pm 25,02\%$) ; T2 ($92,14\pm 9,33\%$) ; T3 ($88,57\pm 4,80\%$) ont donné les taux de talles fertiles les plus élevés. Le taux le plus faible a été enregistré avec les plants du traitement témoin ($63,98\pm 8,89$ %).

Le poids des panicules le plus élevée a été enregistré avec les plants du traitement T3 (2246,31±441,01 kg/ha) et le plus faible avec les plants du traitement T1 (1265,26±865,04 kg/ha).

Quant au nombre de grains/panicule, il a été plus élevé au niveau du traitement T1 (195,5±26,10 grains/panicule) et plus faible au niveau du T4 avec 154,82±14,24 grains/panicule (Tableau 5).

Tableau 5 : Variation des paramètres du rendement et ses composantes en fonction des traitements

Traitements	Taux talles fertiles (%)	Taux stérilité (%)	Poids panicules (kg/ha)	Nbre grains/pan	Rendement grains (Kg/ha)	PMG (g)
T0	63,98±8,89a	19,29±1,55a	1604,21±809,63ab	163,95±17,83ab	1123,95±640a	30,71±1,56a
T1	92,28±25,02b	20,28±11,09a	1265,26±865,04a	195,5±26,10b	1052,42±470,29a	29,08±1,07a
T2	92,14±9,33b	23,98±14,72a	2162,11±442,85ab	185±30,82ab	1604,84±477,53a	30,41±1,86a
T3	88,57±4,80b	15,28±0,65a	2246,31±441,01b	191,6±33,28ab	1591,87±398,56a	30,63±4,55a
T4	80,12±9,10ab	14,9±4,42a	1814,73±558,18ab	154,82±14,24a	1273,3±377,05a	31,37±1,61a
Moyenne	83,42	18,75	1818,52	178,17	1329,28	30,45
P. Value	0,04	0,55	0,04	0,03	0,37	0,76

3.1.3.2 Rendement paille et la biomasse aérienne

L'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative du rendement paille (p=0,40) (Figure 20A) et de la biomasse aérienne (p=0,33) (Figure 20B) en fonction des traitements.

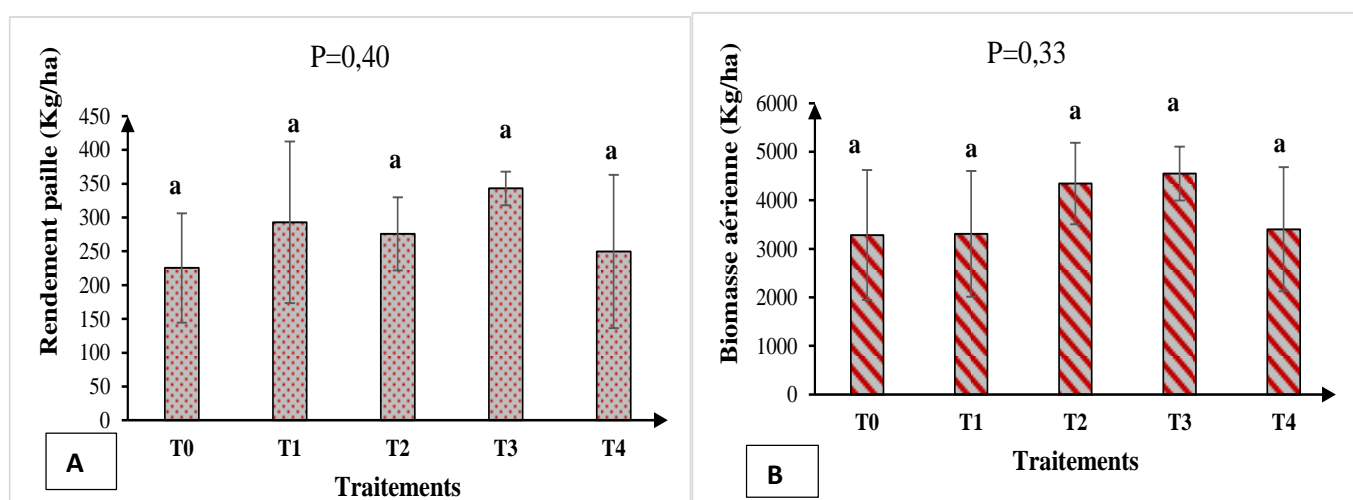


Figure 20 : Variation du rendement paille (A) et de la biomasse aérienne (B) en fonction des traitements

3.1.3.3 Indice de récolte

L'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative ($p=0,33$) de l'indice de récolte en fonction des traitements (Figure 21).

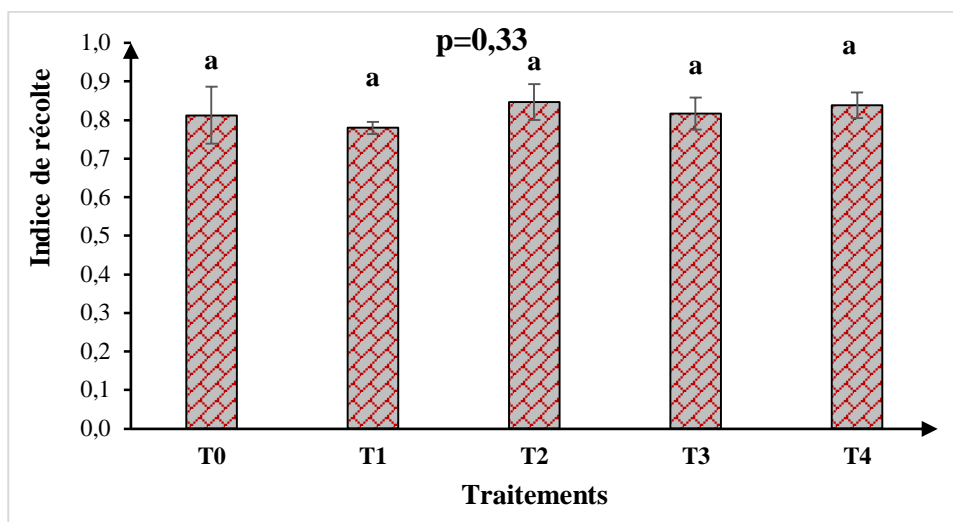


Figure 21 : Variation de l'indice de récolte en fonction des traitements

3.1.4 Relation entre les paramètres étudiés et les traitements appliqués

L'analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur la base des paramètres agro morphologiques du riz et des traitements testés. L'axe factoriel 1 (F1) porte 61,76% de la variance et l'axe factoriel 2 (F2) en porte 25,88%. Les dimensions F1 et F2 absorbent ainsi 87,63% de la variabilité étudiée, ce qui est suffisant pour une bonne représentation graphique de l'information contenue dans la matrice (Tableau 6)

Tableau 6 : Variation des valeurs propres et de l'inertie suivant les axes factoriels de l'ACP

	F1	F2	F3	F4
Valeurs propres	9,8811	4,1401	1,4112	0,5676
Inertie (%)	61,7571	25,8754	8,8198	3,5477
Inertie cumulée%	61,7571	87,6325	96,4523	100,0000

L'analyse de la figure 22 obtenu à partir l'ACP a permis de distinguer 3 groupes de traitements :

- le groupe 1, constitué par les traitements T2 et T3 et caractérisé par une influence positive sur tous les paramètres agromorphologiques à l'exception du taux de survie, du poids mille grains, du taux de stérilité et de l'Indice de récolte
- le groupe 2, constitué du traitement T1, caractérisé par un taux de stérilité élevé, un taux de survie, un poids mille grains faible et un indice de récolte faibles
- et le groupe 3, constitué par les traitements T0 et T4 qui induisent un taux de survie, un poids 1000 grains, et un indice de récolte élevés.

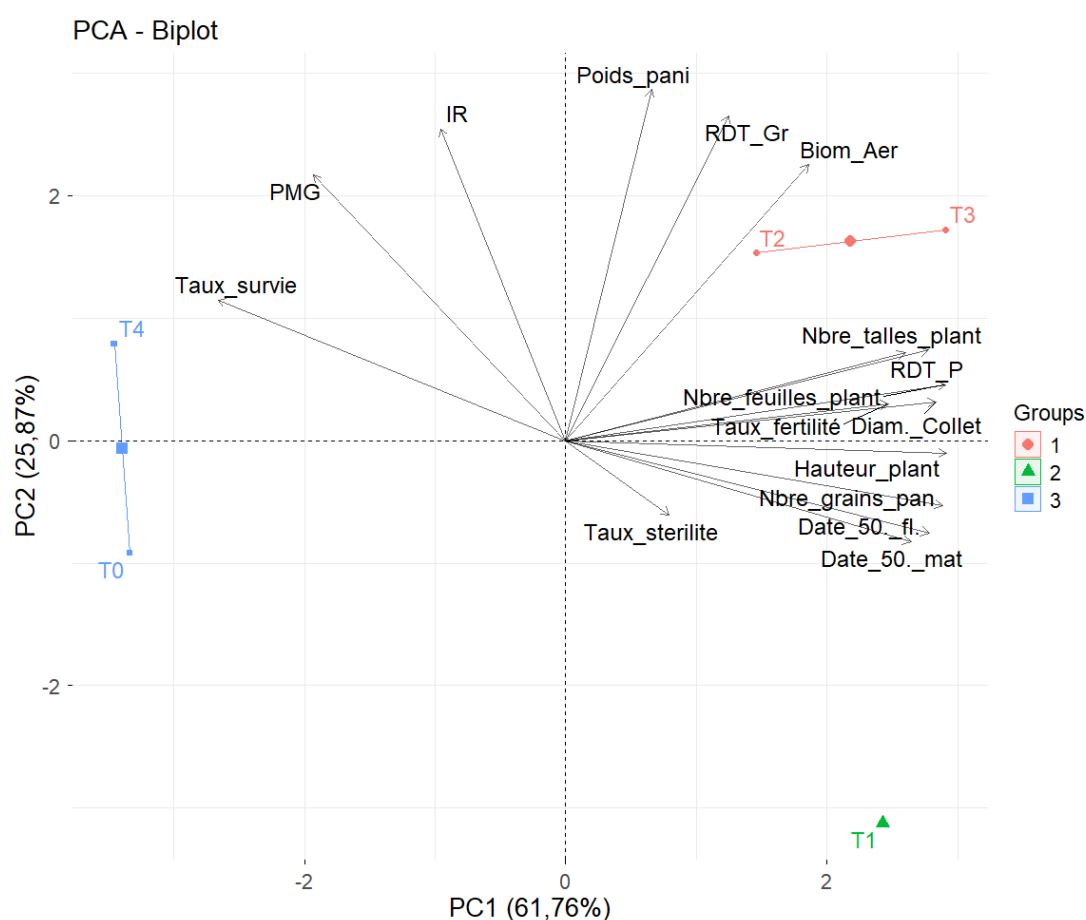


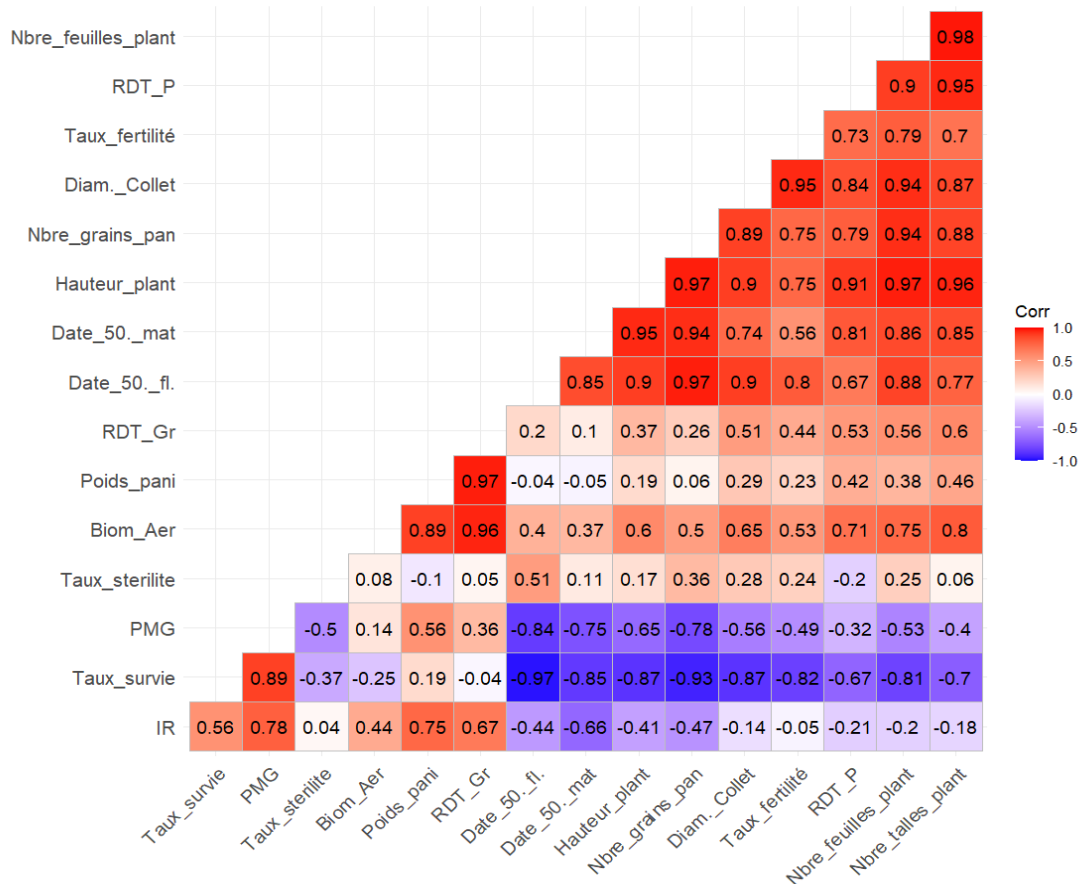
Figure 22 : Typologies des traitements appliqués selon leur influence sur les paramètres agromorphologiques

❖ **Corrélation entre le rendement grains et variables agromorphologiques**

Il apparaît à travers l'analyse de la matrice de Pearson que le rendement grains du riz présente une corrélation positive et significative avec le poids des panicules, la biomasse aérienne, le tallage, le nombre de feuilles/plant, le rendement paille avec des coefficients de corrélation (r) respectifs de 0,97 ; 0,96 ; 0,6 ; 0,56 et 0,53. Ce qui signifie que plus le tallage, la production

foliaire, la biomasse aérienne et le poids des panicules sont importants plus le rendement grains du riz est élevé (Tableau 7).

Tableau 7 : Matrice de Pearson des variables étudiées



La figure 23 indique que le rendement grains du riz de plateau est très fortement influencé par le poids des panicules et la biomasse aérienne produite. En effet, le coefficient de détermination (R^2) égal 0,94 pour la relation rendement et poids des panicules et 0,92 pour la relation rendement et biomasse aérienne, traduit une très forte influence de ces deux paramètres sur le rendement grains du riz de plateau. Quant à l'influence du tallage et de la production foliaire sur le rendement grains, elle apparaît relativement faible comparée à celle observée pour la production de biomasse et le poids des panicules avec un coefficient de détermination (R^2) égal 0,14 pour le tallage et 0,31 pour la production foliaire. Ceci se traduit par une corrélation

positive mais modérée entre le rendement grains et le tallage ($r = 0,6$) et entre le rendement grains et la production foliaire ($r = 0,56$).

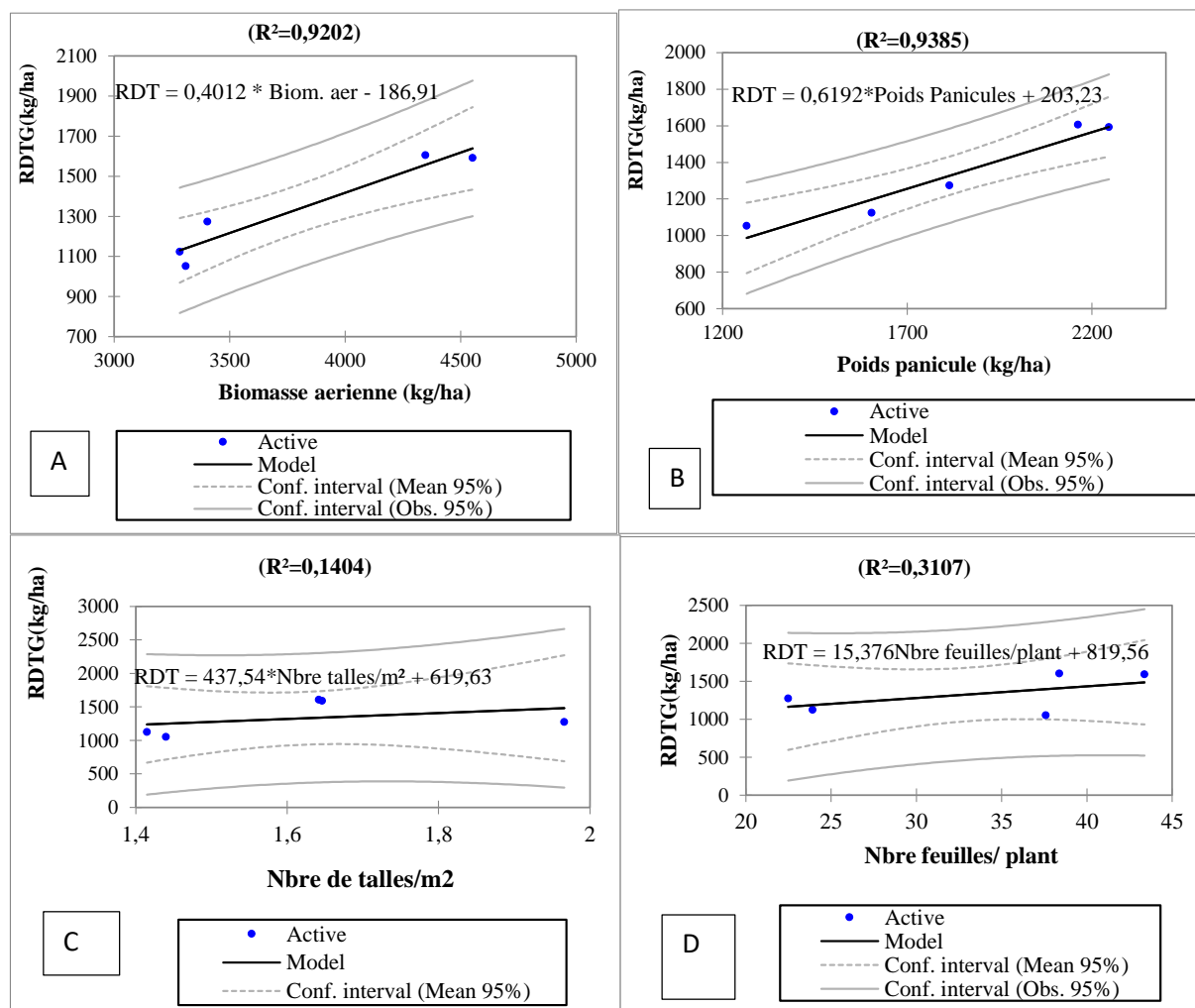


Figure 23: influence de la biomasse aérienne (A), du poids des panicules (B), du tallage (C) et de la production foliaire (D) sur le rendement grains du riz de plateau (NERICA 8)

3.2. Discussion

Cette étude a porté sur l'évaluation de différents types de fertilisation sur les performances agronomiques du riz de plateau en station. Et ce, en vue de contribuer à la mise au point de nouvelles formules d'engrais basées sur les carences en nutriments du sol et les besoins des cultures.

3.2.1. Effet des types de fertilisation sur les paramètres de croissance

Les traitements ont influencé significativement tous les paramètres de croissance à savoir la hauteur des plantes, le diamètre au collet et le nombre de feuilles produites par plante. En effet, la formule d'engrais vulgarisée + urée (T1), la nouvelle formule + urée (T2) et la nouvelle formule + urée, associée au compost (T3) ont permis d'avoir les meilleurs résultats en termes de croissance. Ceci est dû à la disponibilité des éléments nutritifs contenus dans les engrais minéraux. Ces résultats sont similaires aux résultats de Lacharme, (2001) qui montre que l'apport d'engrais minéral permet de fournir aux plantes les éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium, etc.) immédiatement disponibles et que les engrais azotés favorisent une croissance vigoureuse des plants de riz. Parallèlement Kaho et *al.*, (2011) et Tshibingu et *al.*, (2017) ont aussi montré que les apports de fertilisant minéraux ont une influence positive sur la croissance du riz. Ces mêmes résultats ont été trouvés sur des plants de tomate par Nacro (2018) qui 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.

Les faibles performances enregistrées avec le traitement T4 (Compost) seraient liées à une faible disponibilité d'éléments nutritifs comparés aux traitements T1 et T2 constitués de fertilisants chimiques riches en éléments nutritifs. En effet, la mise à disposition des éléments nutritifs du compost nécessite un délai pour la minéralisation complète de la matière organique. Le traitement T3 associant la nouvelle formule + compost + urée au 45^{ème} jas a donné la meilleure performance en termes de croissance. Ceci pourrait être dû à l'effet du compost qui a commencé sa libération de nutriment contenus dans ces réserves d'humus. Cela peut s'expliquer par l'effet synergique de la matière organique contenue dans le compost avec les éléments nutritifs contenus aussi bien dans l'engrais que dans l'urée. Ces résultats corroborent les travaux de Wopereis et *al.*, (2008); Akanza et Sanogo, (2017) et Bilkis et *al.*, (2017) qui stipulent que des apports combinés de matière organique avec des engrais chimiques augmentent la disponibilité des éléments minéraux pour les besoins des plantes. Akanza et Yoro, (2003) confirment que les applications conjointes des deux types de fumures participent au renforcement de l'efficacité des engrais chimiques. En effet, la fertilisation minérale n'est

efficace que s'il existe dans le sol un taux minimum de matière organique. La nouvelle formule + urée (T2) seule présente des performances agronomiques similaires statistiquement à celles de la formule vulgarisée + urée (T1). Cela montre que la nouvelle formule est aussi performante que la formule vulgarisée et a les mêmes propriétés pour stimuler et maintenir la croissance végétatives des plants de riz en basse Casamance.

3.2.2 Effet des types de fertilisation sur les paramètres physiologiques

La floraison et la maturité du riz ont été plus précoces avec le traitement T4 (compost). Ce qui pourrait s'expliquer par effet positif de la matière organique sur la précocité de la floraison et de la maturité du riz. Le tallage est influencé positivement par les apports. Le traitement T3 (la nouvelle formule + urée + compost) a enregistré le nombre de talles/plant le plus important. Cela peut être dû à une importante libération de l'azote contenu dans le compost et celle directement assimilable par le plant contenus dans l'engrais minéral pendant ce stade de développement du riz. En effet (Dobermann et Fairhurst, 2000 ; Dicko, 2005).affirment que le développement végétatif est d'abord déterminé par le tallage qui est corrélé aux conditions d'alimentation azotée. Lacharme, (2001) montre que les engrais azotés favorisent une croissance vigoureuse des plants de riz, la production de feuilles vertes et d'un grand nombre de talles.

3.2.3. Effet des types de fertilisations sur les paramètres de production

Le rendement grains n'a pas été influencé par les traitements .Ces résultats ne sont pas en phase avec ceux obtenus par IFDC, (2024) dans la Basse Casamance en milieu paysan qui stipule que la nouvelle formule + urée (T2) induit un rendement significativement plus élevé comparé aux autres traitements, soit un gain de 51,4% par rapport à la formule vulgarisée + urée. Cette différence peut être due au retard de semis et à la faible teneur en matière organique des sols (0,8%) de station en Basse Casamance. Les types de fertilisations n'ont pas eu d'effet significatif sur les rendements pailles et biomasses aériennes. Ces résultats ne sont pas en phase avec ceux observés par ADRAO, (1995) qui stipule que du fait que l'azote soit l'élément fertilisant le plus important pour le riz et que l'engrais minéral soit riche en azote, sa combinaison avec le compost augmente le rendement paddy mais aussi la quantité de biomasse. Les types de fertilisations n'ont aucun effet significatif sur le poids mille grains. Cependant le taux de talles fertiles, le poids des panicules et le nombre de grains/panicule ont été significativement influencées par les types de fertilisation. Les traitements T2 (nouvelle formule

+ urée) et T3 (nouvelle formule + urée + compost) présentent le poids des panicules le plus important et ceci dû à la quantité importante de phosphore contenus dans la nouvelle formule qui a pour rôle d'améliorer les rendements paddy et ceci associé au compost augmente le poids des graines. Ces résultats sont en phase avec ceux de Sedga. et *al.*, (2015) qui ont montré que le phosphore (P) est un élément important dans la nutrition minérale du riz et dans l'élaboration du rendement paddy. Et l'augmentation de rendement due à l'application de phosphore a été de 19% à Bagre. En moyenne, 70% du phosphore total absorbé est contenu dans les grains.

Conclusion et perspectives

L'objectif de cette présente étude était d'évaluer les performances de nouvelles formules d'engrais sur la croissance et le rendement du riz de plateau à Djibelor en Basse Casamance. Les résultats ont montré que la nouvelle formule (T2) et la nouvelle formule associée au compost (T3) ont eu un effet similaire à celui de la formule vulgarisée (T1) sur les paramètres de croissance.

Sur le plan physiologique, les résultats ont montré que c'est le compost (T4) qui a permis d'enregistrer une floraison et une maturité des grains plus précoces et un taux de survie plus élevé. Quant au tallage, il est plus influencé positivement par le traitement T3 (nouvelle formule associée au compost).

Le rendement du riz n'a pas varié significativement mais le taux de talles fertiles a été plus influencé positivement par les traitements T1, T2 et T3. Le poids des panicules est plus important avec la nouvelle formule associée au compost (T3) et le nombre de grains par panicule avec la formule vulgarisée (T1).

Ainsi, il apparaît que la nouvelle formule de l'engrais minérale associé au compost (T3) en plus d'induire des effets similaires à ceux de la formule vulgarisée (T1) sur les paramètres de croissance a permis d'enregistrer les meilleurs résultats en termes de tallage et de poids des panicules.

A la lumière de ces résultats, il apparaît judicieux :

- d'évaluer l'efficacité économique de ces différentes formules de fertilisation pour analyser leur rentabilité.
- de tester l'effet de ces traitements sur les propriétés chimiques des sols ;
- de reproduire cette expérimentation en zone de bas fond avec la même variété en basse Casamance ;
- de reproduire l'étude sur d'autres variétés de riz en basse Casamance ;

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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, 2008. Guide pratique de la culture des Néricas de plateau 2008. Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest, Centre du riz pour l'Afrique, Cotonou, Bénin, 36 p.

ADRAO, 2009.Sélection variétale participative du riz – Manuel du technicien Cotonou, Bénin.118p

ADRAO, 1995. Formation en production rizicole : manuel du formateur, Cotonou, Bénin : Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO). 305 p.

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 p.

Amandine, L., 2012. Pédologie III : Notions de base 2 100.

ANSD 2023. Situation économique et sociale du Sénégal 2020-2021 ; 46 pages

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

Attrais , B., Mrabet , L., Douia, A., Onine, K., El Haloui, L., 2005. Etude de la valorisation agronomique des compostes des déchets ménagers 11p.

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

Charreau C., et Fauck R., 1967. Les sols du Sénégal.115-154 p.

Culot M. et Lebeau S., 1999. Le compostage, une pratique méconnue de gestion des déchets. *Bulletin d'information AIGx* 5/1999, 11-17.

Diagne L., 2004. Riz, symboles et développement chez les Diolas de Basse Casamance. *Les Presses de l'université de Laval*, 343 p.

Dagbenonbakin G., Djenontin A. J., Ahoyo Adjovi N., Igué M. A., Mensah G. A., 2013. Production et utilisation de compost et gestion des résidus de récolte. Fiche technique. Dépôt légal N°6529 du 18/01/2013, 1er trimestre 2013, Bibliothèque Nationale du Bénin, 12 p.

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). Thèse de doctorat, Biologie des systèmes intégrés, agronomie et environnement. Science du sol : Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier : ENSAM, 170 p.

Del Villar P. M., Bauer J-M., Maiga A., Ibrahim L., 2011. Crise rizicole, évolution des marchés et sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest. Ministère des Affaires étrangères. France. 61 p.

Diop O. et Mané N. K. T., 1998. Inventaire des technologies basées sur la gestion des ressources naturelles et utilisées dans la production agricole en Basse Casamance. In : Bocoum ML. Rapport de synthèse Présentation des résultats de recherche collaborative sur le thème riziculture dans les régions de Basse et Moyenne Casamance, du Sénégal Oriental et de Haute Casamance à Tambacounda (SOHC) du 10 au 13 mars 1996, Tambacounda, ISRA, Sénégal, 226 p.

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.

Frisque M. 2007. Gestion des matières organiques dans les sols cultivés en Région wallonne : avantages agronomiques, avantages environnementaux et séquestration du carbone. 102p

Ganry F., 1974. Première contribution à l'étude de la dynamique de l'azote en sol gris de Casamance. ISRA-CNRA de Bambey. Doc. Ronéo, 12 p.

- Gaoussou N., 2008.** Évaluation multi-locale de nouvelles variétés de riz en conditions de bas-fonds et irriguées de l'ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso ,83 p.
- Gelin, S., & Stengel, P., 1998.** Sol : interface fragile. Paris : Editions INRA. Synthèse du projet FAO Land Degradation Assessment (LADA).
- Gobat J M., Argno M Et Mathey W., 2010.** Le sol vivant bases de pédologie–biologie des sols (3eme Ed., Vol.1). Italie : Revue Page 51-60.
- Grist D. H, 1983.** Rice. Fifth edition, Tropical Agriculture Series, 601 p.
- Hubert M., 2003.** Thèse. L'utilisation du riz génétiquement modifié dans l'alimentation. Nantes, Nantes, France, 130 p.
- INRA, 2014.** Document Technique et d'Informations. Deuxième partie : Analyse bibliographique critique des travaux effectués par domaine sur le riz et la riziculture au Bénin. Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, 69 p.
- ISRA, 2012.** Guide de production de riz pluvial, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, 36 p.
- Jarousseau H., Houot S., Paillat J. M., Saint-Macary H., 2016.** Le recyclage des résidus organiques. Regards sur une pratique agro-écologique. Editions Quæ, 264 p.
- JICA. 2011.** Guide pour la culture du NERICA. 3èmeEd. 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.
- Kambou K. K. A., 2008.** Evaluation du stress hydrique en riziculture de bas-fond en fonction des variétés et des dates de semis. Mémoire de diplôme d'études approfondies, Institut du développement rural, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 67 p.
- 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.

Kelly V., Reardon T., Fall A., Diagana B. N., 1998. Impact des politiques de prix et de revenus sur la consommation et l'offre des produits agricoles. Rapport final du Projet ISRA/IFPRI. Volume 1 & 2, partie I & II, 67 p.

Kouakou K. P. M., Muller B., Fofana A. et Guisse A 2016 : Performances agronomiques de quatre variétés de riz pluvial NERICA de plateau semées à différentes dates en zone soudano-sahélienne au Sénégal, *Journal of Applied Biosciences* 99:9382 – 9394.

Locatelli A., 2013. Prévalence de pathogènes humains dans les sols français, effet des facteurs pédoclimatiques, biologiques et du mode d'utilisation des sols. 187pages.

Lacharme, M., 2001. La fertilisation minérale du riz. Direction de la Recherche Formation Vulgarisation, Ministère du Développement Rural et de l'Environnement. Fascicule 6. p. 19,

Lacharme M., 2001. Le plan de riz : données morphologiques et cycle de la plante 22 p.

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.

Ndione A., 2020. Effets de différentes doses de compost et de la fertilisation minérale azotée sur la croissance et le rendement du maïs en station au CRA/ISRA de Djibélor/Ziguinchor (Sénégal).10 p.

Badiane, M., Camara, B., Ngom., D, Diedhiou, M., A., A, (2019). « *Variation de la pluviométrie dans la Basse Casamance de 1984 à 2016* ».

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

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

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

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

Mrabet, L., Belghyti, D. (2011). Etude de l'effet du compost des déchets ménagers sur l'amélioration du rendement de Maïs et de la Laitue.

Mustin M., 1987. Le Compost, Gestion De La Matière Organique. Editions François Dubusc, 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

Nakamura, T. (2010). Panicle and Flower.. *In*: Matsuda, T. et al. (eds.). Sakumotsugaku-Jiten. Rural Culture Association Japan, Tokyo, Page 100 – 101.

Niang M, Seydi B., Hathie I., 2017. Etude de la consommation des céréales de base au Sénégal, Usaid, Feed The Future Senegal Nataal Mbey, 128 p.

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.

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.

Ouattara L.T.S., Bationo F., Parkouda C., Dao A., Bassole I.H.N., et Diawara B., 2015. Qualité des grains et aptitude à la transformation : cas des variétés de Sorghum bicolor, Pennisetum laucumet Zea mays en usage en Afrique de l'Ouest. *In international journal of biological and chemical sciences*, 9(6): 2819-2832.

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

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

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

Raemaekers H. R. (2001). Agriculture en Afrique tropicale. Direction Générale de la Coopération internationale (DGCI) Rue des petits carnes, 15- Karmelietenstraat 15, 3- 1000 Bruxelles, Belgique. 136p

Sagna, P., 2005. Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique occidentale. (Thèse de doctorat d'état), Université Cheikh Anta Diop 270 p.

Segda, Z., Yameogo, P., Mando, A., Kazuki, S., Wopereis, M., & Sedogo, M. (2015). Le phosphore limite-t-il la production intensive du riz dans la plaine de Bagré au Burkina Faso ?. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(6), 2866–2878. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i6.43>

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

Sié M., Dogbe S. et Diatta M., 2009. Sélection variétale participative du riz. Manuel du technicien, 126 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

Tientore 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.

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,.

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