

Université AssaneSeck de Ziguinchor



UFR Sciences et Technologies

Département d'Agroforesterie

Mémoire de Master

Spécialité : Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers

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)

Présenté par :

Anifane Houtifa Sankoume MANGA

Sous la direction de Porf. Daouda NGOM, Maitres de conférences UCAD

Encadreurs : Dr **Antoine SAMBOU**, Maitre-assistant (UASZ)

Dr **Abdoulaye Badiane**, Chargé de recherches ISRA

Soutenu publiquement le 10/01/2020 devant le jury composé de :

Président:	Prof. Mohamed M. CHARAHABIL	Maitre de conférences CAMES	UFR-ST / UASZ
Membres	Dr. Ousmane NDIAYE	Maitre-Assistant	UFR-ST / UASZ
	Dr. Mayecor DIOUF	Chargé de recherches	ISRA-CRA-Djibélor
	Dr. Siré DIEDHIOU	Maitre-assistant	UFR-ST / UASZ
	Dr. Antoine SAMBOU	Maitre-assistant	UFR-ST / UASZ
	Dr Abdoulaye BADIANE	Chargé de recherches	ISRA-CRA-Djibélor

Année Universitaire : 2018 / 2019

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

**Mes chers
parents ;**

**Mes frères
et sœurs ;**

Tous mes amis et amies

La septième promotion d'Agroforesterie

REMERCIEMENTS

Je rends grâce avant tout Dieu, le tout puissant, le miséricordieux qui m'a donné la force, le courage, la santé et la patience d'accomplir ce travail.

Je tiens à remercier vivement Monsieur le Président et les membres de jury pour avoir accepté de juger ce travail.

Tous mes remerciements particuliers au Dr Abdoulaye BADIANE, Dr Antoine SAMBOU et M. Moustapha Diéré SAGNA pour avoir acceptés 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.

Mes vifs remerciements vont également à l'ensemble des Enseignants du Département d'Agroforesterie pour l'effort consenti pour ma formation.

Je remercie infiniment le Directeur du CRA de Djibélor et tout le personnel (Chercheurs, Ouvrier, Chauffeurs, Stagiaires, Gardiens personnel administratif) pour m'avoir accueilli chez eux, fournis de bonnes conditions pour mener à bien mon travail.

Je tiens aussi à remercier Dr Arfang Kémo Ousmane GOUDIABY du département d'Agroforesterie pour sa disponibilité et son soutien.

Il m'est aussi agréable d'exprimer mes remerciements à tous mes amis qui m'ont aidé pour le bon déroulement de ce travail.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail, trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	v
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
Résumé	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCTION	1
Chapitre 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1 Le sol	3
1.1.1 Les propriétés physiques du sol	3
1.1.2 Les propriétés chimiques du sol	4
1.1.3 Les propriétés biologiques du sol	5
1.2 Généralités sur la salinisation et la salinité des terres	5
1.2.1 Origine de la salinité	6
1.2.2 Les sols salés	7
1.2.3 Effet de la salinité et du pH du sol sur la croissance du riz ou céréales	8
1.2.4 Techniques de lutte contre la salinisation des terres	9
1.3 Dégradation des sols en Casamance	10
Chapitre 2 : MATERIEL ET METHODES	12
2.1 Présentation de la zone d'étude	12
2.2 Facteur étudiés et dispositif expérimental	13
2.3 Conduite de la culture	15
2.4 Collecte des données	16
2.4.1 Analyse des paramètres édaphiques	16
≡ Caractérisation chimique du sol	16
≡ Caractérisation biochimique du sol	18
2.4.2 Suivi phénologique, mesures des paramètres agronomiques et des rendements	18
2.5 Traitement et analyse des données	20

Chapitre 3: RESULTATS ET DISCUSSION	21
3.1.1 Les propriétés chimiques et biochimiques d'un sol de mangrove sulfaté acide	21
3.1.2 Les paramètres de croissance et le rendement	25
3.2 Discussion	32
≡ Les amendements ont-ils un effet sur les paramètres chimiques et biologiques du sol ?	32
≡ Les types d'amendements et de fertilisation minérale recommandée ont-ils influencés les paramètres de rendement ?	33
Conclusion	34
BIBLIOGRAPHIE	35

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP : Analyse en Composantes Principales

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

ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

ANOVA : Analyse de la Variance

APRAO : Amélioration de la Production de Riz en Afrique de l'Ouest

CE : Conductivité Electrique

CEDEAO : Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest

CRA : Centre de Recherches Agricoles

DAPSA : Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles

EAA : Enquête Agricole Annuelle

EEDD : Education à l'Environnement et au Développement Durable

FAO : Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

INP : Institut National de Pédologie

IPI : International Potash Institute

IRD : Institut de Recherches pour le Développement

pH : Potentiel hydrogène

PNAR : Programme National d'Autosuffisance en Riz

PPDC : Projet Pôle de Développement de la Casamance

PRACAS : Programme d'Accélération de la Croissance de l'Agriculture Sénégalaise

RTG : Rendement Total en Grain

RTP : Rendement Total en Paille

SOLAG : Société Languedocienne d'Agrégats

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte des sols et du CRA de Djibélor et localisation de la zone d'étude.....	13
Figure 2 : Pluviométrie de 2018 par rapport à la normale 1988-2018 en fonction des mois à Ziguinchor (ANACIM, 2018).....	13
Figure 3: Dispositif expérimental en bloc de Fisher randomisés.....	14
Figure 4: Diguette des parcelles avec labour à plat.....	15
Figure 5: Mesure de ph avec le ph mètre HANNA.....	17
Figure 6: Echantillons de séchage et de pesage.....	20
Figure 8: Mortalité des plants en fonction des traitements.....	26
Figure 9: Taux d'accroissement en rendement en grain en fonction des traitements.....	29
Figure 7: Corrélacion entre les paramètres et les traitements apportés.....	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classification des sols salés (maillard, 2001).....	7
Tableau 2: Composition des formules de compost F1 et F2.....	14
Tableau 3: Suivi de la variation du pH du sol en fonction des horizons et du temps.....	22
Tableau 4: Variation de la salinité et des activités enzymatiques en fonction des traitements, des horizons et du temps.....	24
Tableau 6: Effets des traitements sur le nombre de talles; le nombre panicules et le taux d'infertilité (%) des talles.....	26
Tableau 7: Effet de des traitements sur la hauteur et la biomasse aérienne sèche des plantes de riz.....	27
Tableau 8: Effets des traitements sur le rendement en grains, le taux de stérilité des graines, le poids des 1000 grains et l'indice de récolte.....	28
Tableau 5: Matrice de corrélation entre les paramètres chimiques, biochimiques de sol et des rendements et composante.....	30

Résumé

Dans un contexte de changement climatique accompagné de rareté des pluies, les bas-fonds deviennent de plus en plus salés et entraînent la dégradation des terres arables. L'apport des amendements organiques qui améliorent les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols pourrait être une solution pour participer à la récupération des terres salées. Cette étude aide à comprendre les effets de l'amendement sur les propriétés chimiques et biochimiques du sol, la croissance et le rendement du riz de mangrove à la station rizicole de sol para-sulfaté acide du CRA de Djibélor. Pour ce faire, un essai a été réalisé à l'aide d'un dispositif en blocs de Fisher avec quatre répétitions. Il comprend un seul facteur la fertilité organo-minérale avec cinq modalités. Il s'agit d'un témoin sans apport, d'une dose recommandée de fertilisation minérale (FM) (200kg/ha 15N-15P-15K + 150 kg/ha Urée 46%N), d'une dose recommandée de phosphogypse (1 t/ha), d'une dose de 7t/ha de compost de formule 1 enrichie en paille de riz et en coquillage d'huitre concassé (F1) et d'une dose 7t/ha de compost de formule 2 riche en urée, en phosphogypse et en paille de *Andropogon gayanus* Khunt (F2). Concernant les paramètres de rendement, seule la biomasse aérienne ($Pr = 0,0208$), le rendement en grain ($Pr = 0,041$) le nombre de talles ($Pr = 0,049$) et le nombre de panicules ($Pr = 0,0075$) qui ont été influencés de manière significative par les apports. Toutefois, les rendements en graines et en paille ont été plus influencés par les apports en compost (F1) et en FM (respectivement : $F1 = 1472,91 \pm 369$ kg/ha ; $FM = 1202 \pm 351$ kg/ha et $F1 = 3484 \pm 1255$ kg/ha ; $FM = 4870 \pm 130$ kg/ha). En fin d'essai, les apports ont influencé de manière significative le pH ($Pr = 0,0001$), la β -glucosidase ($Pr = 0,0001$) et la Phosphatase acide ($Pr = 0,0023$). Ces paramètres chimique et biochimique ont été plus améliorés par les apports en compost (Pour F1 : pH=4,9 dans l'horizon 0-20 et 4,03 au niveau de l'horizon 20-40 ; β -glucosidase = 114,13; phosphatase = 76,42 en 0-20 et pour F2 pH=4,63 en 0-20 et 4 en 20-40 ; β -glucosidase= 128,58 en 0-20 ; phosphatase=38,61 en 20-40). Le paramètre salinité a été plus réduit par le phosphogypse (42,37‰) et la F1 (48,42‰) dans l'horizon 0-20 et dans celui 20-40 par la FM (42,81‰) et la F1 (52,50‰). Ces résultats montrent que l'amendement en compost (F1) améliore non seulement les paramètres chimiques et biochimiques mais aussi les rendements en paille et en graines. Ce qui n'est pas le cas du phosphogypse qui agit seulement sur la salinité.

Mots clés : *Oryza sativa* L, Salinité, Compost, phosphogypse, fertilisation minérale, productivité

ABSTRACT

In a context of climate change accompanied by scarcity of rains, the lowlands are becoming more and more salty and cause the degradation of arable land. Adding organic amendments that improve the physical, chemical and biological properties of the soil could be a solution to help recover salty soil. This study helps to understand the effects of the amendment on the chemical and biochemical properties of the soil, the growth and the yield of mangrove rice at the acid para-sulfated soil rice station of the CRA of Djibélor. To do this, a test was carried out using a Fisher block device with four repetitions. It includes a single factor organo-mineral fertility with five modalities. It is a control without intake, a recommended dose of mineral fertilization (FM) (200kg / ha 15N-15P-15K + 150 kg / ha Urea 46% N), a recommended dose of phosphogypsum (1 t / ha), a dose of 7t / ha of formula 1 compost enriched with rice straw and crushed oyster shell (F1) and a dose of 7t / ha of formula 2 compost rich in urea , in phosphogypsum and in straw of *Andropogon gayanus* Khunt (F2).

Regarding the yield parameters, only the aboveground biomass (Pr = 0.0208), the grain yield (Pr = 0.041) the number of tillers (Pr = 0.049) and the number of panicles (Pr = 0.0075) which have were significantly influenced by the inputs. However, seed and straw yields were more influenced by the compost (F1) and FM inputs (respectively: F1 = 1472.91 ± 369 kg / ha; FM = 1202 ± 351 kg / ha and F1 = 3484 ± 1255 kg / ha; FM = 4870 ± 130 kg / ha). At the end of the test, the intakes significantly influenced the pH (Pr = 0.0001), the β -glucosidase (Pr = 0.0001) and the acid phosphatase (Pr = 0.0023). These chemical and biochemical parameters were further improved by the compost inputs (For F1: pH = 4.9 in the 0-20 horizon and 4.03 at the 20-40 horizon; β -glucosidase = 114, 13; phosphatase = 76.42 in 0-20 and for F2 pH = 4.63 in 0-20 and 4 in 20-40; β -glucosidase = 128.58 in 0-20; phosphatase = 38.61 in 20- 40). The salinity parameter was more reduced by phosphogypsum (42.37 ‰) and F1 (48.42 ‰) in the 0-20 horizon and in that 20-40 by FM (42.81 ‰) and F1 (52.50 ‰). These results show that the improvement in compost (F1) improves not only the chemical and biochemical parameters but also the yields of straw and seeds. This is not the case with phosphogypsum which acts only on salinity.

Keywords: *Oryza sativa* L, Salinity, Compost, phosphogypsum, mineral fertilization, productivity

INTRODUCTION

Le riz (*Oryza sativa* L.) est une céréale bien prisée en Afrique. Sa consommation dans le continent a augmenté de 16 à 29 millions de tonnes entre 2000 et 2012 et de 12 à 24 millions de tonnes en Afrique subsaharienne (Seck et *al.*, 2013). Au Sénégal, la consommation en riz blanc par tête est estimée entre 60 à 70 Kg/an dont à peine 20 à 30 % sont couverts par la production. Le Sénégal est l'un des plus grands importateurs de riz (845 000 tonnes/an entre 2002 et 2011) en Afrique de l'Ouest malgré ses énormes potentiels en production de riz (Manzelli et *al.*, 2013). Par ailleurs, la production en riz n'est pas au rendez-vous durant ces dernières campagnes de culture. Elle est passée de 76 899 tonnes en 2003 à 43 082 tonnes en 2012 (Abdourahmane, 2018).

La baisse de la production de riz au Sénégal pourrait être expliquée par plusieurs facteurs que sont : la pauvreté, les mauvaises politiques de développement en riz, l'érosion des sols et surtout de la salinisation des terres arables (Abdourahmane, 2018). Ce dernier facteur est dû à une accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire. Il a pris plus d'ampleur dans des zones comme la Casamance et partout dans le monde. En effet, la salinisation des sols en Basse et Moyenne Casamance est due aux intrusions marines du fleuve Casamance, la baisse des pluies et l'augmentation des températures occasionnée par le changement climatique (Guillou et *al.*, 1991 ; Albergel et *al.*, 1992 ; Brunet, 1994 ; Montoroi, 1996 ; Noblet et *al.*, 2018). Ainsi, Plus du 1/3 des terres affectées par salinisation au Sénégal sont rencontrées en Casamance (environ 600 000 ha) selon l'INP, (2009). Les effets nocifs de la salinité sur la plante et le sol occasionnent une diminution des rendements des cultures (Mermoud, 2006).

Face à ce défi d'autosuffisance en riz, des efforts d'ordre politique ont été déployés durant ces dernières années. A cet effet, le Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise (PRACAS) et le Projet Pôle de Développement de la Casamance (PPDC) sont quelques exemples parmi tant d'autres mis en œuvre par l'actuel régime. Ainsi, la Casamance, une zone à haute potentialité ou la riziculture de mangrove pluviale est une des principales activités hivernales a été toujours considéré comme le grenier du pays (Birie-Habas, 1965; Montoroi, 1998). Cependant, plusieurs méthodes ont été entreprises par les chercheurs et/ou les paysans pour tenter de résoudre le problème de la salinisation des terres. Certains mettent en place des digues accompagnées ou non d'espèces ligneuses ou herbacées pour pomper et ou fixer le sel montant par capillarité. D'autres utilisaient des ouvrages anti-sel (ISRA, 2012),

ou la méthode du drainage des parcelles ou encore des apports comme le phosphogypse. Certaines de ces méthodes de lutte sont onéreuses (drainage, apports de phosphogypse) ou demandent du temps pour être fonctionnelles (digues accompagnées ou non d'espèces ligneuses ou herbacées). Par ailleurs, les paysans des zones rurales ont toujours utilisé du fumier ou de la cendre comme amendement des sols. Le problème est que cette technique est basée seulement sur des observations et est non réglementée. Selon (Kwey et *al.*, 2015), les amendements organiques sont bénéfiques contre la salinisation du sol qu'ils corrigent par l'effet de pouvoir tampon sur le sol et qu'ils stabilisent chimiquement. Malgré ces efforts, la salinisation continue d'être une contrainte agricole majeure. Ainsi dans une optique de recherche de solutions allant dans le sens d'atténuer les effets de la salinisation sur les terres rizicoles en Casamance et d'accroître leurs rendements, des amendements organiques à base de formules compost à composition variable en comparaison avec le phosphogypse et la fertilisation minérale ont été testés. L'hypothèse générale de recherche se base sur le fait que les amendements organiques peuvent amener les éléments chimiques et biochimiques du sol à des niveaux favorables de rendement et de croissance de la plante en tamponnant le pH du sol. L'objectif de cette étude est de déterminer les effets de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur les caractéristiques chimiques et biochimiques du sol et sur le rendement du riz en condition de sol sulfaté acide salé. De manière spécifique, il s'agit d'étudier l'effet du compost, du phosphogypse et de la fertilisation minérale sur les paramètres chimiques et biochimiques du sol et sur les paramètres agro-morphologiques et le rendement du riz (War 77) dans les rizières sulfato-acides salées.

Le travail présenté dans ce document est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre est une synthèse bibliographique, le second présente le matériel et les méthodes et le troisième constitue les résultats et la discussion.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1 Le sol

Le sol représente la couche superficielle meuble de la croûte terrestre à l'interface entre la lithosphère et l'atmosphère (Dabin et Ségalen, 1970). C'est un milieu vivant qui renferme une grande diversité d'organismes et constitue le support des activités humaines. Il représente pour les organismes qui y vivent un milieu très complexe et très hétérogène (Gobat et *al.*, 2010). Il est constitué d'une phase solide dominante formée de particules de tailles et de natures variables (particules minérales et organiques), d'une phase aqueuse et d'une phase gazeuse. Le mode de disposition de ces différentes particules forme des vides où pores. Ce milieu minéral poreux est une voie de circulation des phases liquides et gazeuses du sol (Gelin et Stengel, 1998).

1.1.1 Les propriétés physiques du sol

Un sol comprend plusieurs propriétés physiques. Il s'agit de la structure, de la texture, de la porosité, de l'aération, la densité apparente.

- La texture d'un sol

C'est la répartition, par diamètre, des particules minérales. La texture d'un sol se définit par rapport au pourcentage pondéral des éléments minéraux comme les cailloux, les sables, les limons et les argiles (Azontonde, 1991).

Ainsi, ce paramètre n'inclue pas les sols organiques. La distribution de ces éléments en pourcentage permet de définir le triangle textural. Selon le degré ou le pourcentage de répartition de ces particules dans un sol, plusieurs types de sols sont définis et/ou proposés dans la littérature. Pour des classifications comme celle américaine, il y'aurait 12 classes de sol (de Forges et *al.*, 2008). Par ailleurs, la texture d'un sol est un indicateur de perméabilité, de rétention d'eau, d'aération. Par exemple, les sols à texture argileuse sont imperméables, mal aéré, défavorable au développement racinaire, difficile à travailler. Aussi, ceux sableux sont facile à travailler poreux, bien aéré. Cependant leur teneur en matières organiques (nutriments minéraux) et réserve en eau très limitée. Et la texture limoneuse caractérise les sols plus favorables à l'agriculture (Nys, 1980)

- La structure

C'est le mode d'assemblage des constituants ou particules d'un sol. La structure d'un sol est un caractère dynamique et évolue dans le temps. Deux (2) catégories sont reconnues. Il s'agit des structures continues (sans agrégats) et ceux fragmentaires (avec agrégats). Ces deux catégories contiennent chacune plusieurs sous catégories. La structure grumeleuse (avec agrégats) reste la mieux conseillée en agriculture (Tamia et *al.*, 1999). Par ailleurs, ce paramètre renseigne sur l'aération du sol dont dépendent l'activité des micro-organismes aérobies, la respiration racinaire et la circulation de l'eau dans le sol.

- **La porosité**

La porosité du sol correspond à l'ensemble des espaces libres dans un volume de sol donné (Amandine, 2012). Elle joue un rôle très important pour la circulation de l'eau, de l'air, des gaz et des microorganismes. 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. Ailleurs, ce paramètre est directement conditionné par la texture et l'état structural d'un sol (Baeyens, 1967 ; Briat et Job, 2017) .

- **La densité apparente**

C'est le rapport entre la masse d'un sol sec sur son volume (Fies et *al.*, 1981). La densité renseigne sur l'aération du sol.

1.1.2 Les propriétés chimiques du sol

Plusieurs caractères tels que le pouvoir adsorbant, le complexe argilo-humique, le pH, la salinité permettent de définir un sol vis-à-vis de ses propriétés chimiques. Le pouvoir adsorbant est la propriété des colloïdes minéraux (argiles) et organiques (composés humiques) de fixer les cations grâce à leurs charges électronégatives. Par ailleurs, la liaison de ces colloïdes par un pont calcique (Le Tacon, 1978) 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 en échange cationique (CEC) qui représente la quantité maximale de cations que le sol peut fixer (Nys, 1980). La forme de présentation et la disponibilité de ces éléments sont influencées par le potentiel Hydrogène (Filiatrault, 2008). Ce dernier détermine le degré d'acidité ou d'alcalinité d'un sol. Le pH du milieu est toujours déterminé par les ions dominants. En effet, Les différents anions et cations présents dans le milieu (SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , etc.) co-précipitent de différentes manières. Le pH du sol va être déterminé par les plus réfractaires à la précipitation. Suivant les cas, différentes sortes de sels se forment (chlorures, sulfates, carbonates, nitrates...) dans le milieu entraînant ainsi une variabilité du

pH du sol entre 3 et 10 (Legros, 2009). La salinité représente la quantité globale de sels contenus dans la solution du sol (Imalet, 1979).

1.1.3 Les propriétés biologiques du sol

L'intensité des processus de transformation (minéralisation et humification) de la matière organique du sol est liée aux activités des microorganismes vivant du sol. Le caractère biologique détermine le type d'humus du sol. En effet, les modalités d'incorporation de l'humus à la fraction minérale et la définition du type d'humus sont très dépendantes de l'activité biologique du sol. Ce dernier est souvent apprécié par l'évaluation des activités enzymatiques qui participent aux cycles de dégradation de la matière organique. Ainsi plusieurs activités enzymatiques ont fait objet de recherche parmi elles la phosphatase acide et la β -glucosidase font partie des plus suivies. En effet, la β -glucosidase fait partie du groupe des enzymes intracellulaires qui interviennent dans le cycle du carbone. Elle joue un rôle clé dans la dégradation des hydrates de carbones ayant des liaisons β -glucosides pour la production du glucose qui est la source principale d'énergie pour les microorganismes hétérotrophes (Deng et Tabatabai, 1997). La β -glucosidase est retrouvée dans le sol et provient de l'activité des bactéries, des champignons et des plantes. Elle intervient dans la dernière étape qui limite la dégradation de la cellulose. Des études ont montré que deux activités phosphomonoestérases peuvent être retrouvées dans le sol, l'une dite acide (pH optimum 6,5) et l'autre alcaline (pH optimum 11) (De Prado et *al.*, 1982 ; Dick et *al.*, 1988 ; Eivazi et Tabatabai, 1977). Le type d'activité enzymatique existant ou prédominant et sa distribution sont déterminés par le pH du sol (Eivazi et Tabatabai, 1977; Dick et Tabatabai, 1984; Dick et *al.*, 2000). Les phosphomonoestérases (phosphatases acide et alcaline) sont des enzymes extracellulaires qui jouent un rôle important dans le cycle du phosphore. Les activités phosphatases acides sont largement retrouvées dans le sol, elles catalysent le clivage hydrolytique des esters d'acides phosphoriques (H_3PO_4) et libèrent du phosphore disponible pour les plantes à partir du phosphore organique (Duguet, 2005).

1.2 Généralités sur la salinisation et la salinité des terres

Il existe une nuance entre salinité et salinisation. La définition de salinité varie en fonction des disciplines. Généralement en aquariophilie, la salinité désigne la proportion de chlorure de Sodium ($NaCl$) en solution dans l'eau de mer (Sun et *al.*, 2008). Pour l'eau salée et en océanographie, la salinité s'appelle le degré halométrique. Elle est la masse de sels contenue dans 1 kg d'eau de mer. En pédologie, une salinité est la concentration en minéraux solubles (souvent limitée aux sels de métaux alcalins ou de magnésium) et en chlorures présente dans l'eau ou dans un sol, généralement exprimée en parties pour mille. C'est la quantité globale de sels contenus dans la solution du sol (Marlet et Job, 2006).

Par ailleurs, la salinisation des sols est le processus d'accumulation des sels à la surface du sol et plus particulièrement dans la zone racinaire. Elle se solde par des effets nocifs sur les végétaux et le sol (Mermoud, 2006).

1.2.1 Origine de la salinité

On parle de salinisation primaire lorsqu'elle est d'origine naturelle et de salinisation secondaire lorsqu'elle est d'origine anthropique.

➤ La salinisation naturelle

Elle serait le fruit de l'effet de la pluie et de la température combiné aux formations géologiques. En effet, plusieurs formations géologiques constituent des sources de sels solubles (Barbouchi et *al.*, 2013). Ainsi, lorsque l'évapotranspiration naturelle est supérieure à la pluie annuelle, l'eau de pluie dissout un peu les roches puis s'évapore. Les sels extraits précipitent, restent sur place et s'accumulent, année après année (Droubi et *al.*, 1976 ; Tiercelin et *al.*, 2006 ; Hachicha, 2007). C'est le cas du désert d'Atacama (Chili) et la Vallée de la mort (Californie). Par contre, si les sels libérés par l'altération des roches sont entraînés vers le bas par des quantités considérables d'eau, ils rejoignent les nappes, les sources les rivières ; épargnant ainsi le sol. C'est le cas en Guyane (Legros, 2009). Aussi, dans les régions semi-arides et arides, la pénurie et la variabilité de la pluie ainsi que la forte évaporation affectent l'eau et l'équilibre des sels dans le sol (Bertrand et *al.*, 1993 ; Samba-Diène, 1998 ; Lahlou et *al.*, 2002 ; Hachicha, 2007 ; Diallo et *al.*, 2015 ; Montoroi, 2017). Aussi, Sur le plan géochimique, les solutions (eaux de surface, souterraines ou de sol) évoluent, au cours de leur concentration. Ce qui signifie qu'avec l'augmentation du facteur de concentration il y'a précipitation de certains sels dans un ordre déterminé (calcite, gypse, etc.) avec celle du NaCl en dernier lieu (Tiercelin et *al.*, 2006; IRD, 2017).

➤ La salinisation anthropique

L'irrigation des sols, leur surexploitation et celle des eaux de surfaces et souterraines, l'utilisation des engrais contenant des sels de potassium et d'azote et les dépôts atmosphériques près des sites industriels sont les principaux facteurs anthropiques de salinisation des sols (Montoroi, 2017). Dans la plupart des cas l'irrigation est la principale cause de salinisation anthropique (cheverry, 1998 ; Lahmar et Ruellan, 2007 ; Rouabhia et Djabri, 2010). L'utilisation des eaux chargées de sel en irrigation peut causer dans certaines conditions la salinisation des sols. En effet, quand l'eau, chargée en sels, ne peut s'évacuer

suffisamment vite des parcelles, les sels s'accumulent, précipitent et se déposent dans les sols (IRD, 2017). Ainsi, à l'échelle mondiale, 1 à 2 % des terres irriguées sont dégradées chaque année, du fait de la salinisation ou de la sodification. Par ailleurs, des recherches ont montrées que la surexploitation des eaux souterraines pour des usages urbains ou d'irrigation des périmètres à proximité des étendues d'eau salée (mer ou fleuve) favorise l'intrusion d'eau salée dans les aquifères d'eau douce (Frissant et Corail, 2005 ; Dörfliger, 2013). Aussi l'exploitation abusive des sables côtière contribue à un fort avancé de la langue salée. Ce phénomène est observé dans la zone des Niayes au Sénégal (Comte et *al.*, 2012; Diallo et *al.*, 2015). En plus de ces facteurs, la dégradation des forêts est une autre cause de salinisation (Sene et *al.*, 2014). La dégradation des forêts facilite le transport des sels par le vent vers d'autres lieu (Ndiaye et *al.*, 2012).

1.2.2 Les sols salés

➤ Classification des sols en fonction de la salinité

Selon (Maillard, 2001), les sols salés peuvent être classés en cinq groupes en fonction de la conductivité de l'extrait de sol saturé.

Tableau 1 : Classification des sols salés (maillard, 2001)

Classes	Non salin	Légèrement salin	Modérément salin	Fortement salin	Très fortement salin
Conductivité de l'extrait de sol saturé (Ds/m)	0 à 2	2 à 4	4 à 8	8 à 16	>16

➤ Les sols salés au Sénégal

Au Sénégal, on retrouve deux catégories de sols salés que sont les sols salés acides et les sols salés à alcalin. Ces derniers sont relativement peu représentés dans le pays et se trouvent localisés dans le delta du Fleuve Sénégal (Charreau et Fauck, 1965). Ce type de salinisation est caractérisé par un pH nettement basique supérieur à 10. Par contre, celle des sols salés acide, plus représenté dans le pays, est relativement faible variant entre 3 et 4 (Loyer et Boivin, 1986). Ceci pourrait s'expliquer d'une part, par l'oxydation de polysulfures, abondants dans ces sols (Charreau et *al.*, 1965). D'autre part, l'acidification des sols est

essentiellement due à la perte de calcium dans le sol ; l'exportation des éléments minéraux du sol par des récoltes sans compensation et l'utilisation des engrais minéraux acidifiants.

Le Sénégal a un grand problème de salinisation qui affecte les terres cultivables. En effet, sur 2442000 ha de terres arable, 25% sont sous l'influence du phénomène de salinisation des terres (INP, 2013). Les zones les plus atteintes sont le Delta du Fleuve Sénégal, le Lac de Guiers, les Niayes, le Sine-Saloum, et la zone fluvio-marine de la Casamance (Boivin et *al*, 1985). Dans ces zones, les remontées capillaires et la salinisation sont d'autant plus importantes. Cela est souvent dû à l'existence d'une nappe phréatique peu profonde et salée souvent alimenté par les eaux de pluies. En Casamance, la salinisation est une conséquence du processus d'évaporation intense qui se manifeste pendant la longue saison sèche et chaude (8 mois).

1.2.3 Effet de la salinité et du pH du sol sur la croissance du riz ou céréales

La salinité a un effet direct ou indirect sur les paramètres chimiques du sol tels que l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le sodium, etc. En effet, la salinité et le pH s'influencent mutuellement. D'une part, le pH facilite la salinisation et d'autre part, le type de sel détermine le pH du milieu. Suivant les cas, on obtient toutes sortes de sels différents : chlorures, sulfates, carbonates, nitrates parfois et à un pH incroyablement variable entre 3 et 10 (Legros, 2009). Par ailleurs, la variation du pH influence la disponibilité des éléments du sol. Selon Filiatrault (2008), la forme d'une molécule change en fonction du pH de la solution dans laquelle elle se trouve. Ainsi, la disponibilité des éléments chimique est fonction du pH et de la salinité. Par ailleurs, les effets de la salinité sur la plante varient selon la spéculation, le stade de développement et suivant les différentes parties de la plante. Chez le maïs, la salinité attaque les feuilles et les racines. Cela se manifeste par un flétrissement puis un brunissement des feuilles sans se dessécher. En plus, la racine est couverte par une gaine noire. Ce phénomène peut entraîner la mort de 50 à 100% des plantes des cultures suivant les parcelles après 8 à 10 jours de la date d'apparition des premiers symptômes (Jacq, 1975). En effet, en sol salé, c'est plus difficile pour les racines de pomper l'eau dont elles ont besoins pour alimenter les feuilles, tenir les stomates ouverts, et donc autoriser l'absorption de gaz carbonique. Les sels en solution déterminent une pression osmotique qui a tendance à jouer dans le mauvais sens c'est-à-dire à faire sortir l'eau des racines. Ainsi, souvent, lorsqu'une plante a sa base immergée dans un sol très salé, inondé par exemple par la mer, elle ne peut plus absorber de l'eau, flétrit et meurt de soif (Legros, 2009). Selon Allaoui (2006), la grande majorité de stress

salins est provoquée par des sels de sodium (Na), particulièrement le chlorure de sodium (NaCl).

1.2.4 Techniques de lutte contre la salinisation des terres

Parmi les techniques de lutte contre la salinisation des sols, il y'a :

➤ L'irrigation

C'est l'une des plus grande causes de salinisation d'origine anthropique (Tester, 2003; Negrão et *al.*, 2017). En effet, une mauvaise eau d'irrigation ou une irrigation mal gérer peut entrainer une salinisation (Lahlou et *al.*, 2002 ; Ahmed, 2012 ; Gouaidia et *al.*, 2012). Dans la plupart des cas les eaux d'irrigations contiennent une dose de sel. Cette dernière varie en fonction de la qualité de l'eau. Pour éviter une accumulation important de sel dans son champ, les eaux utilisées doivent contenir de faibles doses de sels. Les quantités d'eau à irrigué doivent inclure la part d'eau qui sert à lessiver le sol de ses sels (Boivin et Le Brusq, 1985).

➤ L'amendement des sols avec du compost ou des composées riches en agents fixatrice d'ion Na⁺ et Cl

Ce sont souvent des amendements de composé tels que le gypse (CaSO₄, 2H₂O), la calcite (CaCO₃), le chlorure de calcium (CaCl₂) et la matière organique dont le fumier, les engrais verts, les amendements organiques et les déchets urbains (Makoi et Verplancke, 2010). Actuellement, le phosphogypse est le plus utilisé (Sene et *al.*, 2014). En effet, c'est un amendement calcaire, sous-produit de la synthèse de l'acide phosphorique par voie humide. Il contient entre 5 et 10 % d'impuretés, surtout des métaux lourds à faible concentration. Il s'agit du plomb (Pb), du cadmium (Cd) et du chrome (Cr). Ces métaux peuvent être toxiques pour les plantes, même à faible concentration (Ndiaye, 1999). Ailleurs, le phosphogypse a une action de remplacement du sodium (Na⁺) fixé au complexe absorbant par le calcium (Ca²⁺) qu'il contient. La structure du sol se trouve améliorée car l'ion Ca²⁺ est plus hydraté que l'ion Na⁺. Aussi, le Cl⁻ est lessivé et remplacé par le SO₄⁻. Le gypse (CaSO₄·2H₂O) diminue considérablement la percolation en créant des zones de colmatage. Le dessalement, corollaire de la percolation, est amélioré. Pour une seule culture par an, 4 à 5t/ha de gypse est recommandable pour accélérer le dessalement et éviter le retour du sel pendant la période sèche. Le gypse, occasionne le lessivage des ions Na et Cl en faveur des ions bivalents Ca²⁺, Mg²⁺ et SO₄²⁻. Il se dissout en fonction des besoins du riz en Ca²⁺ (Mutsaers et Van Der Velden, 1973). Ainsi, Lorsque les sulfates et les carbonates sont associés au calcium, ils deviennent presque

insolubles (Noomene, 2011). Cependant la présence de matière organique dans le sol est primordiale pour maintenir la fertilité du sol et ainsi réduire les pertes de substances nutritives (Dick, 1992 ; Inckel et *al.*, 2005). D'une part, elle forme l'humus (création de complexe argilo-humique) et d'autre part elle se minéralise. En manque de matière organique, il y'a formation d'une couche superficielle poudreuse. Ce qui rend le sol vulnérable à la salinisation (Boivin et Le Brusq, 1985). La matière organique peut aussi retenir des substances nutritives du sol et les mettre lentement à la disposition des plantes. Elle contient des substances nutritives importantes comme l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K), qui seront à la disposition des plantes après décomposition (Inckel et *al.*, 2005).

➤ **L'implantation des digues et ou la plantation des espèces fixatrices ou halophytes**

Les digues servent à arrêter l'avancé de l'eau de mer vers les terres de culture. Elles sont parfois renforcées par des plantes fixatrices et ou pompeuses de sel (Redondo-Gomez et *al.*, 2007). Cette pratique a été longtemps utilisée par les paysans des zones rurales. Ailleurs, certaines espèces sont aussi utilisées pour fixer ou pomper les sels vers les horizons inférieurs permettant ainsi de rendre ces sols arables. Ainsi, des espèces comme *Atriplex halimus* L. sont utilisées dans la récupération des sols salée (Mozafar et Goodin, 1970 ; Khan et Ungar, 1984).

➤ **Le système de cultures sur billons et à plat**

La culture en billon est une pratique souvent adopté en basse Casamance pour permettre ainsi de lutter contre l'érosion hydrique et aussi la salinité en riziculture pluvial (Schmitz, 1984 ; Abdourahmane, 2018 ;). En effet, avec ce système, les nutriments sont piégés dans les sillons afin d'éviter leurs drainages par érosion hydrique. Le système de culture en billon permet aussi de ralentir l'évolution d'une éventuelle salinisation. Le billon permet aux racines des cultures d'éviter la salinité (Brunet et *al.*, 1991). Ainsi cultiver en billon expose moins aux problèmes de dégradation des sols.

1.3 Dégradation des sols en Casamance

La dégradation des sols peut être d'ordre physique et/ou chimique et/ou encore biologique. Par ailleurs, celle physique qui ne fait que s'aggraver depuis quelques années à travers le monde se manifeste sous trois formes essentielles : érosion éolienne et hydrique et tassement (Cheverry, 1994 ; Sadio, 1995 ; Igué et Agossou, 2008 ; Roger-Estrade et *al.*, 2011). D'autre part, la dégradation biologique est souvent liée à une perte de matière organique, qui, si elle est absente, limite les possibilités de vie des organismes vivants qui s'en nourrissent (EEDD,

2012). Cependant, les types de dégradation ne peuvent être traités de manière séparée car elles sont liées entre elles. Mais en Casamance, la dégradation des sols est beaucoup plus chimique. En effet, la zone est dominée par des sols ferrugineux sur pente et des sols à cuirasses (Sadio, 1995). La Casamance a été affecté par la baisse de la pluviométrie et de l'écoulement fluvial. Ces phénomènes ont causées l'invasion des eaux marines dans le réseau hydrographique, la baisse généralisée du niveau des nappes, la salinisation et l'acidification des vasières occupées par la mangrove qui a disparu sur de grandes étendues (Albergel et *al.*, 1992). En effet, la zone casamançaise comporte un vaste domaine fluviomarin. Ce dernier est subdivisé de la mer vers le continent en sol de vase, suivi de sol nu appelé « tannes » qui précède des sols de rizière puis des sols continentaux. La vase et les tannes sont caractérisés par des sols salés sulfaté à acidité potentiel excessive du fait des dépôts de sulfate marin (Diagne et Cescas, 1997). Ces composants édaphiques de l'écosystème sont le lieu de plusieurs réactions chimiques. Certaines de ces réactions conduisent à des situations de salinisation rendant ainsi le sol non apte à la riziculture. L'acidification des sols est l'un des fléaux qui perdure dans ce milieu. Ces sols acides sont particulièrement sensibles au lessivage qui, emportant les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} , diminue le taux de saturation en bases, et aggrave encore la situation (Delville et Boucher, 1996). Ensuite, la réduction du sulfate est une autre réaction prédominant dans cet écosystème (Montoroi, 1993; Olivry, 1983).

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

2.1 Présentation de la zone d'étude

L'étude a été réalisée à la nouvelle station rizicole du Centre de Recherches Agricoles (ISRA-CRA) de Djibélor (12°33'39"N ; 16°18'25"O) situé dans la commune de Niaguis dans la région de Ziguinchor-Sénégal) (Figure 1).

Le climat de la région est du type soudanien côtier Sud (Sagna, 2005). Elle est caractérisée 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 (de 1984 et 2012). Les températures minimale et maximale sont de 15,5 et 37 °C. Elles sont enregistrées respectivement au mois de janvier et avril. La pluviométrie moyenne annuelle est estimée à 1316 mm (Figure 2).

L'essai a été réalisé en zone de mangrove. Il s'agit de la zone occupée autrefois par la mangrove. Les sols de cette zone font partie de la classe des sols halomorphe peu évolués (Charreau et Fauck, 1965). Autrefois occupés par les eaux de la mère, ils ne sont plus atteints par la submersion quotidienne sauf en période de très grandes ou hautes marées. Cependant, ces sols, subissent une alternance annuelle d'inondation et d'assèchement, que favorise le climat tropical alterné, saison sèche et saison des pluies (ou hivernage) (Vieillefon, 1969). Ainsi, ils sont le lieu de rencontre d'eau douce et d'eau salée. Ces sols sont soumis à des dépôts perpétuels d'alluvions marins souvent sulfatés. Ces intrusions marines peuvent entraîner par accumulation l'existence des sols salés sulfatés à acidité potentiel excessive (Diagne et Cescas, 1997).

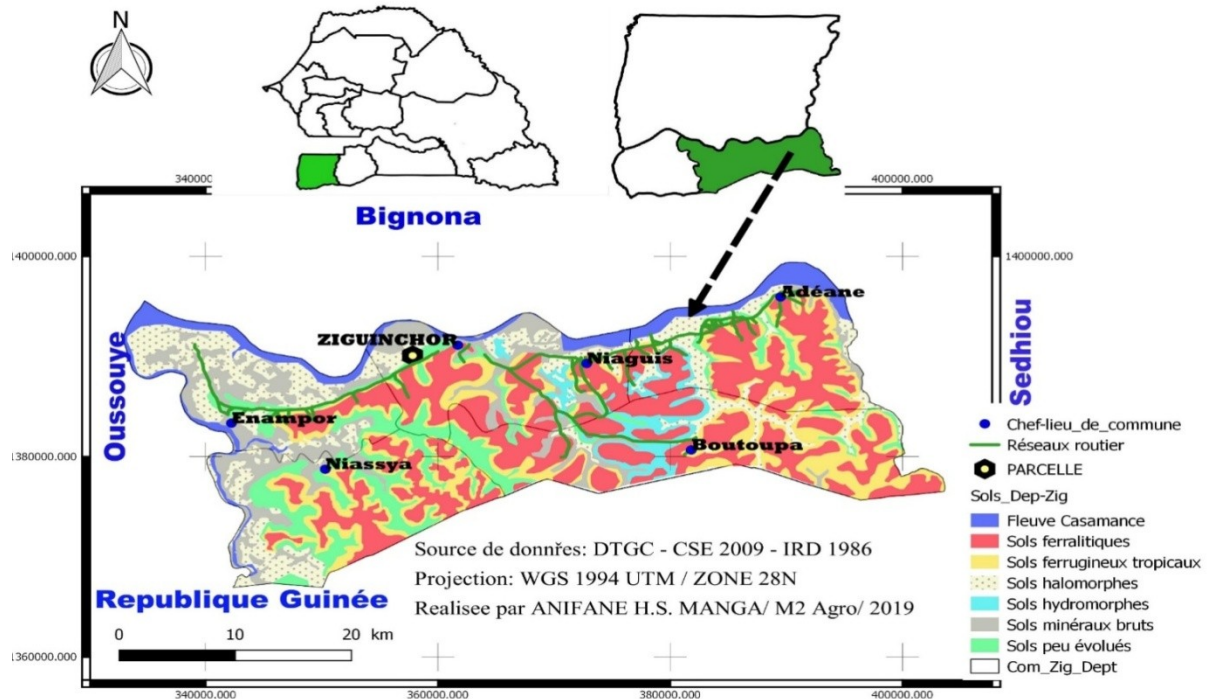


FIGURE 1 : Carte des sols et du CRA de Djibélor et localisation de la zone d'étude

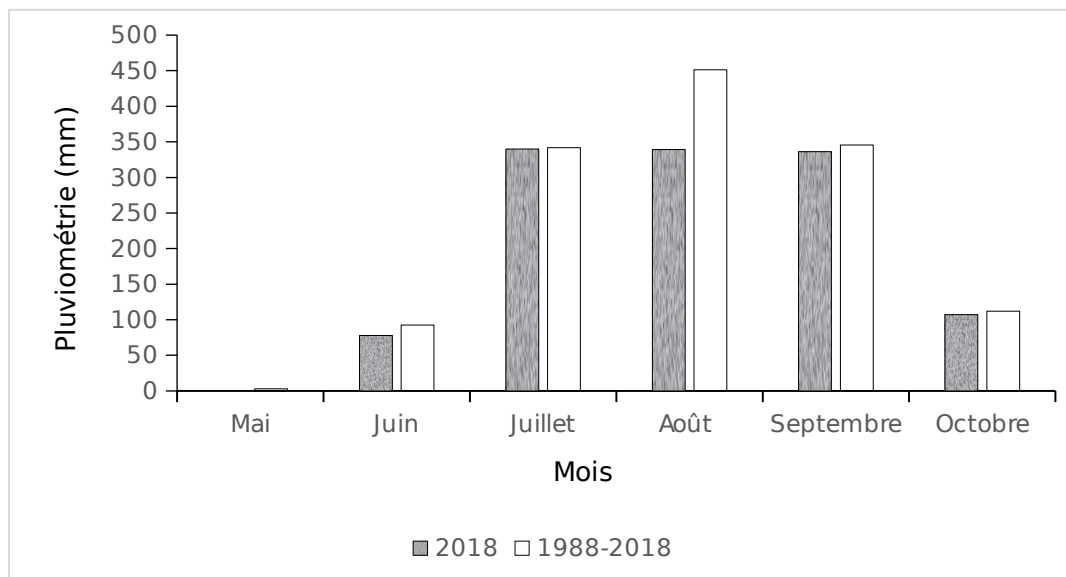


Figure 2 : Pluviométrie de 2018 par rapport à la normale 1988-2018 en fonction des mois à Ziguinchor (ANACIM, 2018)

2.2 Facteur étudiés et dispositif expérimental

Le dispositif adopté est en blocs de Fisher avec quatre répétitions ou blocs. Dans chaque bloc, il y'a cinq parcelles élémentaires (2 m²) correspondant aux traitements (Figure 3). Ces traitements ont été placés dans les parcelles de manière aléatoire ($v=1 + \mu (N-1)$). Le traitement comprend un seul facteur la fertilisation organo-minérale avec les doses

recommandées. Cinq niveaux de traitements ont été étudiés : un témoin sans aucun apport, la dose recommandée de fertilisation minérale (FM) (200kg/ha 15N-15P-15K + 150 kg/ha Urée 46%N), la dose recommandée de phosphogypse (1 t/ha), la dose de 7t/ha du compost F1 et la dose 7t/ha du compost F2.

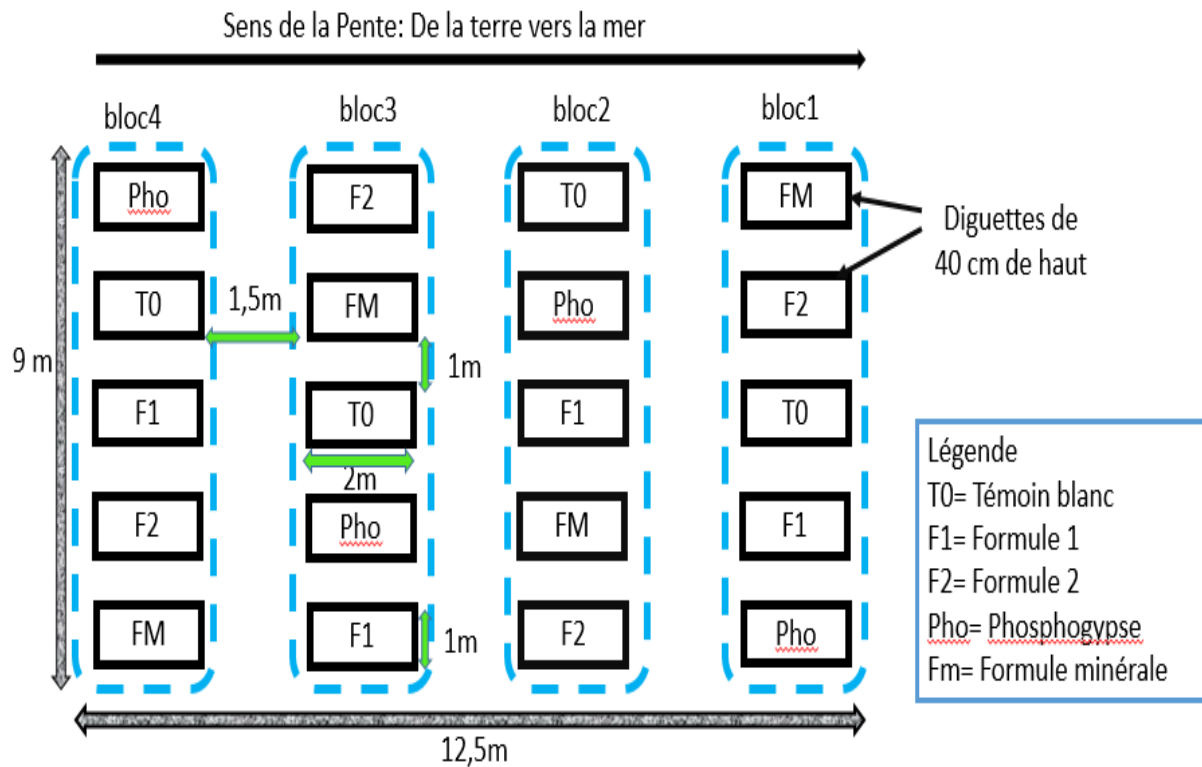


Figure 3: Dispositif expérimental en bloc de Fisher randomisés

Les formules de compost F1 et F2 présentent les caractéristiques en termes de composition en matières décrit par Badiane et *al.*, (2019) dans le Tableau 2. La F1 est à base de pailles de riz (*Oryza sativa* L.) et de poudrette de coquillages concassés. La F2 est constituée d'*Andropogon gayanus* Khunth de phosphogypse et d'urée. Les autres composants sont communs aux deux formules.

Tableau 2: Composition des formules de compost F1 et F2

Formules	Cendres de bois	Poudrette de fumier d'étable	Paille de riz	Fientes de volailles	Poudrette de coquillages concassés	Résidus vert de <i>Crotalaria retusa</i>	Poudrette d'arachide	Paille d' <i>Andropogon gayanus</i> K	Urée	phosphogypse	Totaux (Kg)
F1	25	93	190	37	04	02	85	00	00	00	436
F2	25	93	00	29	00	02	85	190	08	02	434

2.3 Conduite de la culture

L'essai a été installé pendant la campagne hivernale 2018 (21/07/2018). Les travaux de préparation de terrain ont consisté à un labour à plat et une confection des diguettes de 60 cm à 70 cm de haut assez étanches (à l'aide d'un « *kadiandou* ») autour des parcelles pour éviter la contamination entre les parcelles élémentaires. Les composés amendés ont été épandus dans chaque parcelle correspondant avant labour (le 12/08/2018). L'amendement a été enfoui une semaine avant le repiquage (20/08/2018). Par contre, la fertilisation minérale a été faite conformément aux recommandations de la recherche (épandage d'engrais de fonds 15N-15P-15K) à la dose de 200 kg/ha au semis et en un apport de 150 kg par ha d'urée (46% N) fractionné à raison de 100 kg/ha à début tallage et de 50 kg/ha à début épiaison. Les parcelles ont été drainées à un jour avant la plantation pour évacuer les sels dissouts (Figure 4).



Figure 4: Diguettes des parcelles avec labour à plat

La variété utilisée est la WAR-77-3-2-2. C'est une variété cultivée en zone de mangrove avec des rendements variant entre 2,5 et 4 t/ha pour une durée de culture de 130 à 135 jours (CEDEAO et al., 2016). Le repiquage a été effectué avec des plants âgés de 20 jours suivant un écartement de plantation de 20 cm x 20 cm en raison d'un plants/poquet. Deux opérations de sarclage ont été effectuées au tallage et à l'initiation paniculaire avant les apports d'urée.

Des carrés de rendement de 0,8 m x 0,8 m (0,64 m²) ont été installés au centre des parcelles élémentaires pour collecter les données de production.

2.4 Collecte des données

2.4.1 Analyse des paramètres édaphiques

L'échantillonnage de sol a été réalisé dans deux horizons notamment 0-20 cm et 20-40 cm de chaque parcelle élémentaire. Chaque échantillon représente un composite de cinq échantillons suivant un dispositif croisés d'échantillonnage. Pour déterminer la salinité et le dosage des activités enzymatiques microbiennes, les prélèvements de sols ont été effectués en avant l'application des traitements et à la fin de l'essai. Pour les mesures de pH, elles ont été réalisées sur les échantillons de sols prélevés avant application de traitements (T0j) et tous les 15 jours jusqu'à la récolte (à T15j, T30j, T45j, T60, T75j, T90j, T105j et T120j). La caractérisation chimique des sols effectuée concerne le pH et la salinité. Sur le plan biochimique nous avons effectués le dosage des activités enzymatiques au niveau du sol à savoir la β -glucosidase et la phosphatase acide.

- **Caractérisation chimique du sol**
 - **Mesure de pH**

Le pH du sol a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre HANNA (Figure 5). Les mesures de pH ont été faites sur une suspension (eau) dans un rapport sol/solution de 1g de sol/2,5 ml d'eau déminéralisée. Le pH a été suivi pour chaque prélèvement de sol alors que les autres paramètres ont été mesurés seulement avant apport des traitements et à la fin de l'essai.



Figure 5: Mesure de ph avec le ph mètre HANNA

▪ **Mesures de la salinité**

Le dosage a été effectué avec 20 g de sol dans 100 ml d'eau déminéralisé et le mélange a été remué pendant 1h. Après décantation, la conductivité électrique (Xs) du filtrat a été mesurée à l'aide d'un conductimètre. Cette valeur de conductivité a été comparée avec celle déterminée sur une solution de chlorure de potassium 0.01N (KCl 0.01N) préalablement préparée avec dosage de 745 mg de KCl dans 1 l d'eau déminéralisée. Ces mesures permettent d'évaluer la salinité du substrat par la formule suivante :

$$Salinité (\%) = \frac{a * Xs * 1000}{p * Xk}$$

- Avec a= constante de solution de KCl en mg
- P= poids du substrat en g
- Xs= conductivité électrique de l'extrait mesurée
- Xk= conductivité électrique de la solution standard de KCl (Aubert, 1982; Dubendorf, 1978)

➤ **Caractérisation biochimique du sol**

▪ **Activité de la β -glucosidase**

L'activité de la β -glucosidase a été mesurée en incubant 100 mg de sol pendant 2h à 37°C, avec 100 μ l de para-nitrophényl β -D-glucopyranoside 5 mM (Sigma) et 400 μ l de tampon citrate phosphate (Mac Ilvain) à pH 5,8 (Hayano, 1973). La réaction est arrêtée en alcalinisant le milieu avec 3 ml de carbonate de sodium (Na_2CO_3) 0.2%. Le para-nitrophénol libéré par l'activité de la β -glucosidase a été mesurée au spectrophotomètre (spectonic 401) à la longueur d'onde de 400 nm après 15 min de stabilisation à la température ambiante. Les résultats sont exprimés en μ g pNP/g de sol/h.

▪ **Activité phosphatase acide**

L'activité de la phosphatase acide a été mesurée en incubant 100 mg de sol pendant 1h à 37°C avec 100 μ l para-nitrophenyl phosphate et 400 μ l de tampon citrate phosphate (Mac Ilvain) à pH 5,8 (Tabatabai et Bremner, 1969). La réaction est arrêtée en alcalinisant le milieu avec 400 μ l de NaOH et 100 μ l de CaCl_2 . Le CaCl_2 permet de complexer les substances humiques qui sont présentes dans le milieu réactionnel. Le NaOH permet de rendre le milieu basique afin d'obtenir la coloration jaune correspondant à la libération du para-nitrophenol. La densité optique est lue au spectrophotomètre (spectonic 401) à la longueur d'onde de 400 nm. Les résultats sont exprimés en μ g pNP/g de sol/h.

2.4.2 Suivi phénologique, mesures des paramètres agronomiques et des rendements

Les paramètres agronomiques ont été mesurés ou calculés:

- Le taux de reprise des plants (TRP) consistait à dénombrer les plants qui ont survécus 15 jours après repiquage dans les parcelles élémentaires. Ce taux a été calculé en faisant le rapport entre le nombre de plants qui ont survécu (NPS) sur le nombre total de plants (NPT) multiplié par cent.

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

- Le nombre total de talles (NTT) et de panicules (NP) par m^2 avant récolte a été évalué sur 6 plants pris au hasard dans le carré de rendement. Le taux d'infertilité (TIN) des talles a été calculé suivant la formule suivante :

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

- La hauteur des plants a été mesurée sur 3 pieds pris au hasard dans le carré de rendement à la maturité.
- Le taux de stérilité (TS) des graines a été calculé après la récolte en choisissant au hasard sur chaque parcelle cinq 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.

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

- La biomasse des tiges, des feuilles et des panicules a été déterminée. La masse fraîche a été déterminée en pesant les tiges, les feuilles et les panicules justes après récolte grâce à un peson. Suite à un séchage des panicules et de la biomasse à l'air libre pendant 15 jours, la masse sèche a été déterminée à l'aide d'une balance électronique (Figure 6).
- La masse des 1000 grains a été également déterminé après séchage à l'air libre pendant 15 jours. Ces pesées ont permis de calculer le rendement grains en kg. ha⁻¹ ajusté à 14% d'humidité (RTG) (Brady, 1981) et le rendement paille (RTP) (en kg/ha) à 0% d'humidité.
- L'indice de récolte (IR) a été calculé suivant la formule ci-après :

$$IR = \frac{RTG}{RTP + RTG}$$

Avec RTP= Rendement Total en Paille en kg et RTG= Rendement Total en Grains en kg



Figure 6: Echantillons de séchage et de pesage

2.5 Traitement et analyse des données

Les analyses de variance (ANOVA) au seuil de 5%, l'analyse en composantes principales (ACP) et les tests de comparaison des moyennes de Fisher ont été effectuées pour établir la significativité des différences et la comparaison des traitements.

Chapitre 3: Résultats et discussion

3.1 Résultats

3.1.1 Les propriétés chimiques et biochimiques d'un sol de mangrove sulfaté acide

L'évolution du pH est marquée par une augmentation en fonction du temps. Une augmentation du pH du sol à partir de T0j à T90j suivie d'une diminution à partir T105j. A la récolte on note une diminution du pH dans tous les traitements. Le pH est plus acide dans les traitements sans apport de compost. Le pH enregistré en F1 est significativement plus élevé suivi de F2 et de FM. Les valeurs de pH les plus faibles sont enregistrées au niveau de T0 et Pho. Avant l'application des traitements (T0j), il n'y a aucune différence significative de pH du sol sur les deux horizons. Les valeurs moyennes de pH étaient comprises entre 3,6 à 3,8 (Tableau 3). Quinze jours (T15j) après l'application des traitements, on observe des effets significatifs sur le pH dans l'horizon 0-20 cm. Le pH enregistré en F1 (5,300) est significativement plus élevé que ceux obtenus sur les autres traitements notamment en F2 (4,433), T0 (4,467) et FM (4,667) et phosphogypse (4,900).

Au 30^{ème}, 75^{ème} et 90^{ème} jour, le pH du sol dans 0-20 cm ne varie pas de façon significative entre les traitements. Les différences observées pour cet horizon au 45^{ème} sont liés au traitement T0 avec un pH plus acide que ceux des autres traitements. Au 60^{ème} jour, le traitement FM (5,9) enregistre le pH le plus faible mais pas significativement différent de celui de F2 (6,333).

L'urée a été apportée en second fraction à cette date, ce qui explique cette légère diminution du pH pour le traitement FM. D'ailleurs, le pH est significativement plus faible en FM que dans le traitement T0 (6,667), F1 (6,8) et phosphogypse (6,6).

Au 105^{ème} jour, il y'a une variation importante du pH avec des effets significatifs ($p < 0.000$). Les traitements avec apport de compost (F1=4,767 et F2= 4,567) ont les pH les plus élevés par rapport à T0 (3,867), FM (4,067) et le phosphogypse (3,867). Dans l'horizon de sol 20-40 cm, il n'y a pas eu d'effets significatifs des traitements sur le pH du 15^{ème} au 90^{ème} jour. Cependant, au 105^{ème} et 120^{ème} jour, le pH est plus acide au niveau de T0 que des autres traitements (F1, F2, Pho et FM). Quelque soit le traitement le pH est plus élevé en surface

dans l'horizon 0-20 cm que dans celui de 20-40 cm. Cela suggère que l'effet des apports a été superficiel et limité durant le début de l'essai dans la couche de sol 0-20 cm (Tableau 3).

Tableau 3: Suivi de la variation du pH du sol en fonction des horizons et du temps

Horizon(Cm)	Traitements	T0j	T15j	T30j	T45j	T60j	T75j	T90j	T105j	T120j
0-20	T0	3,80 ± 0,2 ^a	4,467 ± 0,57 ^{bc}	5,10 ± 0,26 ^a	4,867 ± 0,50 ^b	6,667 ± 0,15 ^a	6,33 ± 0,15 ^a	5,96 ± 1,1 ^{ab}	3,86 ± 0,25 ^{bc}	4,16 ± 0,05 ^{cd}
	F1	3,80 ± 0,2 ^a	5,300 ± 0,60 ^a	5,06 ± 0,66 ^a	5,800 ± 0,2 ^a	6,800 ± 0,3 ^a	6,43 ± 0,05 ^a	6,63 ± 0,55 ^a	4,76 ± 0,06 ^a	4,90 ± 0,10 ^a
	F2	3,80 ± 0,2 ^a	4,433 ± 0,20 ^{bc}	4,86 ± 0,50 ^{ab}	5,867 ± 0,15 ^a	6,333 ± 0,60 ^{ab}	6,43 ± 0,11 ^a	6,16 ± 0,49 ^{ab}	4,56 ± 0,06 ^a	4,63 ± 0,23 ^b
	FM	3,80 ± 0,2 ^a	4,667 ± 0,51 ^b	5,06 ± 0,63 ^a	5,867 ± 0,58 ^a	5,900 ± 0,36 ^{bc}	6,36 ± 0,40 ^a	5,60 ± 0,98 ^{abc}	4,06 ± 0,06 ^b	4,23 ± 0,05 ^c
	Pho	3,80 ± 0,2 ^a	4,900 ± 0,52 ^{ab}	5,03 ± 0,21 ^a	5,667 ± 0,75 ^a	6,600 ± 0,31 ^a	6,13 ± 0,30 ^a	6,13 ± 0,32 ^{ab}	3,86 ± 0,21 ^{bc}	4,10 ± 0,10 ^{cde}
20-40	T0	3,66 ± 0,30 ^a	3,96 ± 0,15 ^c	4,46 ± 0,23 ^{abc}	4,533 ± 0,23 ^b	5,40 ± 0,21 ^c	4,63 ± 0,41 ^b	4,33 ± 0,57 ^d	3,63 ± 0,11 ^c	3,83 ± 0,04 ^f
	F1	3,66 ± 0,30 ^a	3,96 ± 0,12 ^c	4,46 ± 0,32 ^{abc}	4,633 ± 0,15 ^b	5,93 ± 0,23 ^{bc}	4,53 ± 0,47 ^b	4,53 ± 0,55 ^{cd}	4,06 ± 0,46 ^b	4,03 ± 0,1 ^{de}
	F2	3,66 ± 0,30 ^a	3,96 ± 0,11 ^c	4,16 ± 0,23 ^c	4,700 ± 0,2 ^b	5,76 ± 0,21 ^{bc}	4,60 ± 0,43 ^b	5,10 ± 0,4 ^{bcd}	3,83 ± 0,15 ^{bc}	4,00 ± 0,05 ^{def}
	FM	3,66 ± 0,30 ^a	3,93 ± 0,11 ^c	4,33 ± 0,41 ^{bc}	4,733 ± 0,47 ^b	5,66 ± 0,11 ^c	4,63 ± 0,25 ^b	5,20 ± 10 ^{bcd}	4,10 ± 0,26 ^b	3,93 ± 0,06 ^{ef}
	Pho	3,66 ± 0,30 ^a	3,96 ± 0,15 ^c	4,10 ± 0,17 ^c	4,900 ± 0,26 ^b	5,80 ± 0,88 ^{bc}	5,03 ± 0,55 ^b	4,70 ± 0,52 ^{cd}	3,93 ± 0,32 ^{bc}	3,93 ± 0,05 ^{ef}
Pr > F	0,987	0,0001	0,021	0,0001	0,002	0,0001	0,007	0,0001	0,0001	0,0001
Significatif	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

Au seuil de 5%, les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes

Avec T:temps et j:jours

Suivant le temps, l'activité de la β -glucosidase a augmenté de T0j à T120j alors que l'activité de la phosphatase acide et la salinité ont diminué. En comparant en fonction des horizons, la salinité a augmenté tandis que l'activité de la phosphatase acide a diminué de l'horizon 0-20 Cm à 20-40 Cm. Des effets non significatifs sur tous les échantillons de sols avant l'application des traitements (T0j) quelques que soit l'horizon ont été observés sur la salinité ($p=0,985$), les activités de la β -glucosidase ($p=0,999$) et de la phosphatase acide ($p=0,777$). Même après la récolte, le taux de salinité n'a pas été affecté par les différents traitements. On observe par contre une tendance à la baisse du taux de salinité à la récolte (T120j) après application des traitements.

Dans l'horizon de sol 20-40 cm, la β -glucosidase ne varie pratiquement pas de façon significative quel que soit le traitement. A T120j, les traitements ont des effets significatifs ($p<0,05$) sur les activités enzymatiques et non significatifs ($p=0.630$) sur la salinité. Pour la phosphatase, T0 (16,635 $\mu\text{g/p-Np/ g sol/h sec}$) se distingue des activités des traitements F1 (76,421 $\mu\text{g/p-Np/ g sol/h sec}$) et F2 (56,986 $\mu\text{g/p-Np/ g sol/h sec}$) au niveau de l'horizon 0-20 Cm. Les effets des traitements sur l'activité de la β -glucosidase sont dus aux apports de composts en surface (0-20 cm) qui enrichissent le sol en supplément de Carbone. L'activité β -glucosidase est significativement plus élevée en F2 (128,581 $\mu\text{g/p-Np/h/g sol sec}$) par rapport à FM (102,418 $\mu\text{g/p-Np/h/g sol sec}$) et au phosphogypse (8,803 $\mu\text{g/p-Np/h/g sol sec}$). Les valeurs moyennes obtenues en F1 et T0 ne sont pas significativement différentes de à celles de F2 (Tableau 4).

Tableau 4: Variation de la salinité et des activités enzymatiques en fonction des traitements, des horizons et du temps.

Horizons (Cm)	Traitements	T0j			T120j		
		β -glucosidase (μg /g Np/h/g sol sec)	Phosphatase Acide (μg	Salinité (‰)	β -glucosidase (μg /g Np/h/g sol sec)	Phosphatase Acide (μg	Salinité (‰)
0-20	T0	14,22 \pm 4,24 ^a	60,32 \pm 24,79 ^a	102,68 \pm 4,90 ^a	122,61 \pm 47,72 ^{ab}	16,63 \pm 27,40 ^{cd}	53,67 \pm 12,81 ^a
	F1	14,22 \pm 4,24 ^a	60,32 \pm 24,79 ^a	102,68 \pm 4,90 ^a	114,13 \pm 5,99 ^{ab}	76,42 \pm 9,87 ^a	48,42 \pm 12,81 ^a
	F2	14,22 \pm 4,24 ^a	60,32 \pm 24,79 ^a	102,68 \pm 4,90 ^a	128,58 \pm 14 ^a	56,98 \pm 33,24 ^{ab}	53,67 \pm 18,21 ^a
	FM	14,22 \pm 4,24 ^a	60,32 \pm 24,79 ^a	102,68 \pm 4,90 ^a	102,41 \pm 23,87 ^b	23,08 \pm 10,35 ^{cd}	53,67 \pm 10,57 ^a
	Pho	14,22 \pm 4,24 ^a	60,32 \pm 24,79 ^a	102,68 \pm 4,90 ^a	8,80 \pm 0,26 ^c	35,47 \pm 16,17 ^{bcd}	42,37 \pm 25,01 ^a
20-40	T0	17,98 \pm 14,05 ^a	42,32 \pm 16,60 ^a	109,92 \pm 18,79 ^a	6,00 \pm 3,34 ^c	9,52 \pm 8,04 ^d	73,50 \pm 20,14 ^a
	F1	17,98 \pm 14,05 ^a	42,32 \pm 16,60 ^a	109,92 \pm 18,79 ^a	10,44 \pm 3,43 ^c	29,20 \pm 16,19 ^{bcd}	52,50 \pm 3,89 ^a
	F2	17,98 \pm 14,05 ^a	42,32 \pm 16,60 ^a	109,92 \pm 18,79 ^a	15,38 \pm 10,36 ^c	38,61 \pm 19,07 ^{bc}	68,66 \pm 25,59 ^a
	FM	17,98 \pm 14,05 ^a	42,32 \pm 16,60 ^a	109,92 \pm 18,79 ^a	7,85 \pm 2,55 ^c	19,38 \pm 19,66 ^{cd}	42,81 \pm 12,13 ^a
	Pho	17,98 \pm 14,05 ^a	42,32 \pm 16,60 ^a	109,92 \pm 18,79 ^a	18,24 \pm 11,44 ^c	24,05 \pm 8,28 ^{cd}	52,50 \pm 33,23 ^a
Pr > F		0,999	0,777	0,985	0,0001	0,002	0,63
Significatif		Non	Non	Non	Oui	Oui	Non

Au seuil de 5%, les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes

T0= témoin blanc, Pho= phosphogypse, FM= formule minérale, F1= formule 1 de composte, F2= formule 2 de composte

3.1.2 Les paramètres de croissance et le rendement

La mortalité des plantes n'est pas affectée significativement ($Pr = 0,304$) par l'amendement et l'engrais minéral. Le phosphogypse a donné le plus faible taux de mortalité des plantes (3,026 %) suivi de la formule F1 du compost (10,28 %). Par contre, le taux de mortalité des plantes le plus élevé est noté au niveau du témoin (21,7133 %) (Figure 8).

L'amendement (types de composts), le phosphogypse et la fertilisation minérale ont des effets significatifs sur le nombre de talle/m² ($p=0,049$), et le nombre de panicules ($p=0,0075$). Le nombre de talles/m² le plus élevé est enregistrée avec la dose d'engrais minéral recommandée (274 ± 69) et le plus faible avec le phosphogypse (157 ± 32).

Le taux d'infertilité moyen du riz le plus élevé est enregistré avec le traitement témoin ($40 \pm 0,8$ %). La production de panicules la plus grande est notée avec F1 (182 ± 13 panicules/m²). Alors que le nombre de panicules est plus faible au niveau du phosphogypse (94 ± 37 panicules/m²). Par contre les apports d'amendement et d'engrais chimiques n'ont pas eu d'effets significatifs sur l'infertilité du riz (Tableau 6).

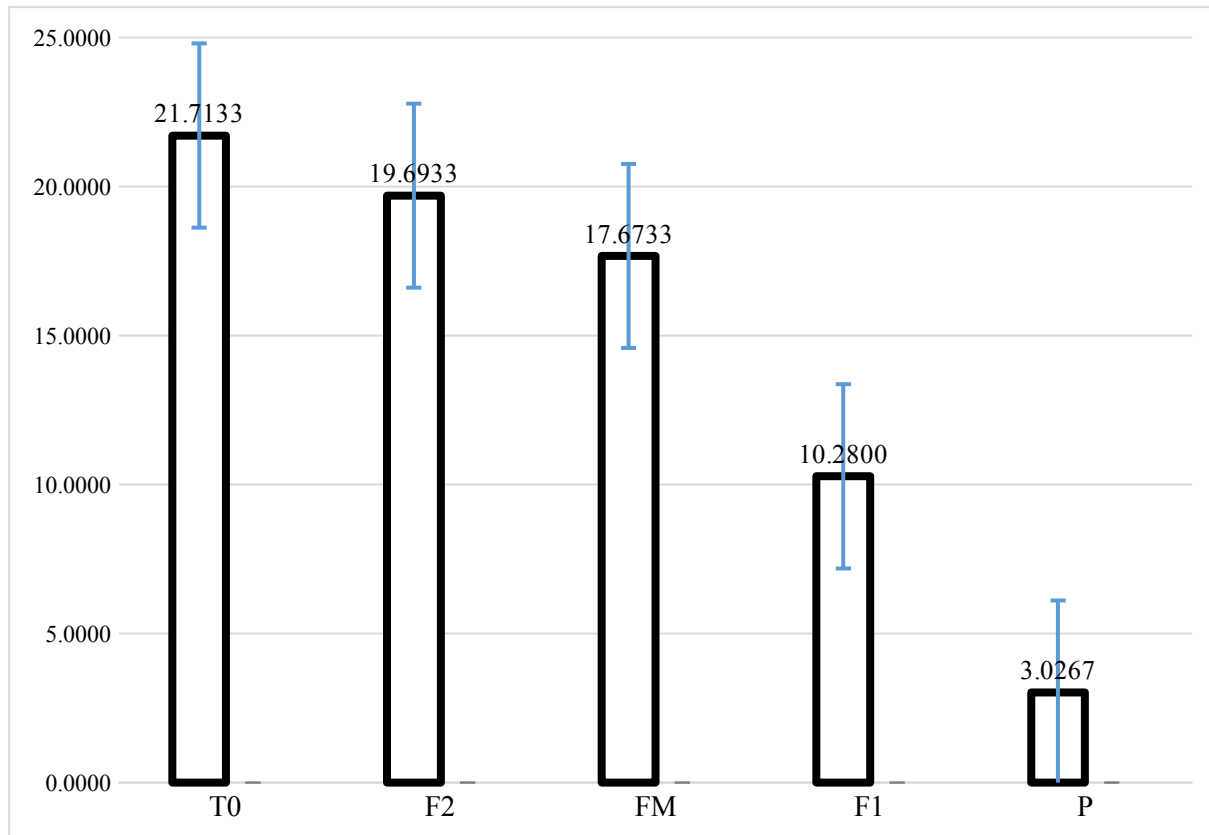


Figure 7: Mortalité des plants en fonction des traitements

Tableau 5: Effets des traitements sur le nombre de talles; le nombre panicules et le taux d'infertilité (%) des talles

Traitements	Nombre de Talles/m ²	Nombre de panicules/m ²	Taux d'infertilité
T0	187,498 ± 25,34 ^{bc}	106,942 ± 20,97 ^{bc}	40,100 ± 0,78 ^a
F1	238,887 ± 31,55 ^{abc}	181,940 ± 13,39 ^a	29,687 ± 4,55 ^a
F2	258,165 ± 53,9 ^{ab}	158,333 ± 31,46 ^{ab}	39,423 ± 7,17 ^a
FM	273,607 ± 69 ^a	145,833 ± 26,02 ^{ab}	38,083 ± 11,85 ^a
Pho	156,940 ± 32,36 ^c	94,440 ± 27,1 ^c	39,633 ± 5,21 ^a
Pr > F	0,049	0,007	0,373
Significatif	Oui	Oui	Non

T0= témoin blanc, Pho= phosphogypse, FM= formule minérale, F1= formule 1 de composte, F2= formule 2 de composte

Au seuil de 5%, les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes

Aucune différence significative n'est notée sur la hauteur des plantes ($Pr = 0,1607$) suivant les traitements ; par contre la biomasse aérienne est influencée ($Pr = 0,023$) par ces apports. Les traitements FM et F1 ont donné les tailles des plantes (117 cm et 116 cm) et les rendements biomasse (3484 ± 1255 kg/ha ; 4870 ± 130 kg/ha) les plus élevées (Tableau 7).

Tableau 6: Effet de des traitements sur la hauteur et la biomasse aérienne sèche des plantes de riz

Traitements	Hauteur plants	Biomasse aérienne
T0	$97,553 \pm 2,69^a$	$1828,123 \pm 248,04^b$
F1	$115,997 \pm 3,75^a$	$4869,792 \pm 130,10^a$
F2	$107,110 \pm 1,83^a$	$2692,708 \pm 384,11^{ab}$
FM	$116,997 \pm 17,83^a$	$3484,375 \pm 1254,97^{ab}$
Phosphogypse	$102,887 \pm 12,93^a$	$2875,000 \pm 1532,20^{ab}$
Pr > F	0,161	0,023
Significatif	Non	Oui

Au seuil de 5%, les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes

La production de grains la plus importante est obtenue avec F1 ($1472,917 \pm 369$ kg/ha) suivi de FM (1202 ± 351 kg/ha). Les taux de stérilité les plus élevés sont enregistrés avec les traitements T0 (26,55 %) et phosphogypse (21 %). La masse des 1000 grains et l'indice de récolte les plus importants sont notés respectivement avec F2 et FM (Tableau 8).

Tableau 7: Effets des traitements sur le rendement en grains, le taux de stérilité des graines, le poids des 1000 grains et l'indice de récolte

Traitements	Rdt en grains	Taux de stérilité	Masse 1000 grains	Indice de récolte
T0	536,458 ± 23,86 ^c	26,550 ± 9,23 ^a	24,000 ± 1 ^a	0,223 ± 0,011 ^a
F1	1472,917 ± 369,84 ^a	16,827 ± 1,95 ^a	24,333 ± 1,6 ^a	0,220 ± 0,055 ^a
F2	666,667 ± 242,23 ^{bc}	16,947 ± 2,62 ^a	25,333 ± 1,15 ^a	0,193 ± 0,046 ^a
FM	1202,125 ± 350,96 ^{ab}	16,993 ± 1,84 ^a	24,833 ± 0,26 ^a	0,257 ± 0,015 ^a
Phosphogypse	786,458 ± 579,67 ^{bc}	20,990 ± 12,29 ^a	24,333 ± 1,04 ^a	0,190 ± 0,10 ^a
Pr > F	0,041	0,419	0,627	0,617
Significatif	Oui	Non	Non	Non

Au seuil de 5%, les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes

La F1 favorise un accroissement du rendement en grain de 162,14 % par rapport à T0 suivi de FM (124,1 %) et le taux le plus faible est enregistré au niveau de F2 (24,7 %) (Figure 9).

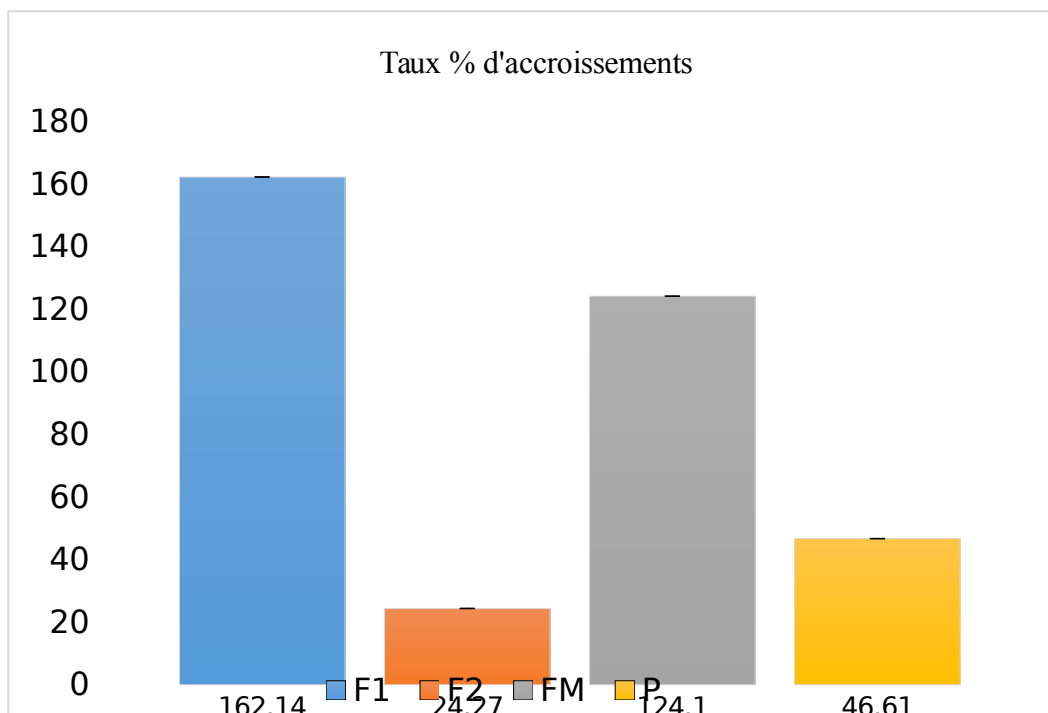


Figure 8: Taux d'accroissement en rendement en grain en fonction des traitements

L'ACP a montré l'existence de quatre groupes. Par ailleurs, seuls trois de ces groupes sont mieux corrélés à un ou plusieurs traitements selon les axes. Ainsi, selon l'axe F2 (27,39%), le compost F1 est corrélé positivement à la biomasse aérienne, au rendement en grain, à la phosphatase acide, au pH, à la hauteur des talles et au nombre de panicules. Quant à T0, il est corrélé positivement au taux de stérilité et à l'infertilité. Suivant les axes F1 et F2 (78,35 %), les traitements FM et F2 ont des profils similaires. En effet ils sont corrélés positivement aux nombres de talles, à l'activité de la β -glucosidase, au poids des 1000 grains et à l'indice de récolte (Tableau 5 et Figure 7).

Tableau 8: Matrice de corrélation entre les paramètres chimiques, biochimiques de sol et des rendements et composante

Variabiles	Infer	Talles/ m ²	RDT Grain	Biomasse aérienne	Stérilité	1000 grains	pani/1 m ²	Hauteur talles	Indice de récolte	Mortalité	pH	Phosphat ase acide	β- glucosidase
Infer	1												
Talles/m ²	-0,303	1											
RDT Grain	-0,838	0,489	1										
Biomasse aérienne	-0,920	0,420	0,954	1									
Stérilité	0,488	-0,730	-0,682	-0,732	1								
1000 grains	0,163	0,704	0,021	0,064	-0,718	1							
pani/1m ²	-0,747	0,811	0,675	0,744	-0,769	0,465	1						
Hauteur Talles	-0,662	0,764	0,917	0,855	-0,867	0,398	0,782	1					
Indice de récolte	-0,185	0,524	0,498	0,232	-0,093	-0,099	0,240	0,524	1				
Mortalité	0,290	0,512	-0,325	-0,429	0,182	0,273	0,197	-0,102	0,415	1			
pH	-0,796	0,528	0,523	0,698	-0,618	0,305	0,913	0,541	-0,107	0,031	1		
Phosphatase acide	-0,765	0,297	0,498	0,727	-0,646	0,277	0,762	0,470	-0,369	-0,308	0,929	1	
β-glucosidase	-0,223	0,677	0,052	0,032	-0,107	0,269	0,625	0,207	0,387	0,856	0,522	0,181	1
Salinité	0,171	0,673	-0,142	-0,261	-0,002	0,369	0,348	0,105	0,525	0,978	0,127	-0,225	0,888

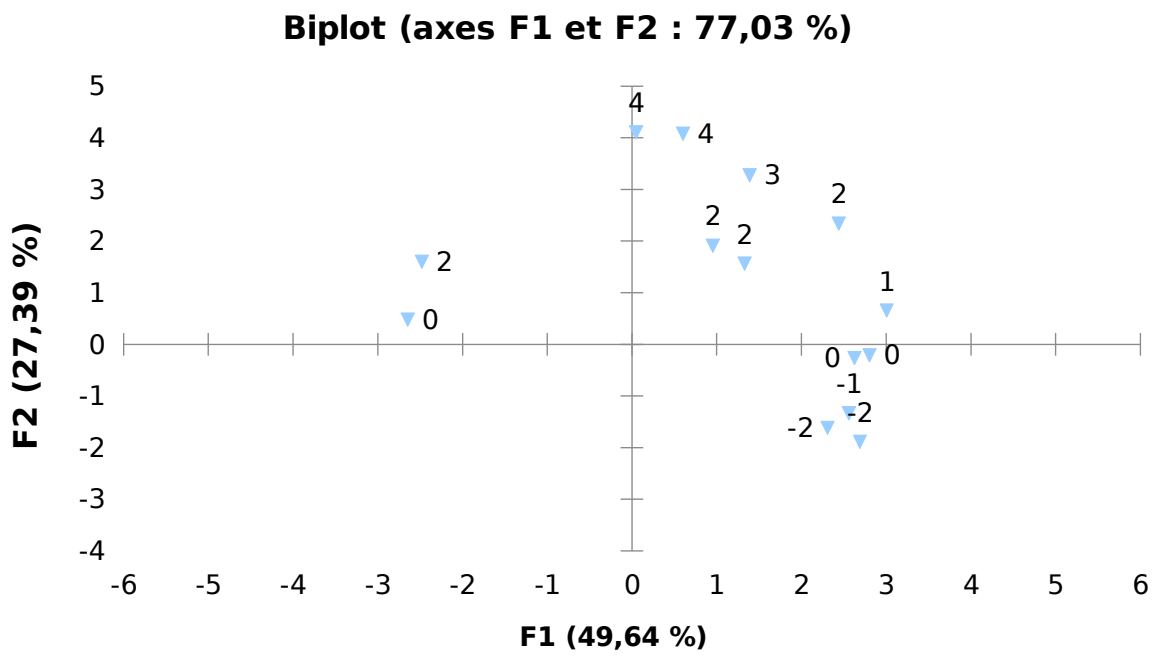


Figure 9: Corrélation entre les paramètres et les traitements apportés

3.2 Discussion

➤ Les amendements ont-ils un effet sur les paramètres chimiques et biologiques du sol ?

Le suivi de l'évolution du pH pour toute la durée de l'essai, a permis de mettre en évidence les effets bénéfiques des matières organiques compostées sur le pH qui conditionnent la disponibilité nutritionnelle des éléments pour la plante.

Les caractéristiques initiales du pH dans les deux horizons de sols avec des valeurs moyennes de pH comprises entre 3,6 à 3,8, montrent un sol acide éventuellement hostile au développement de la culture. En fin d'essai, les amendements organiques et minéraux ont eu des effets sur le pH, la β -glucosidase et la Phosphatase acide. Cela pourrait être dû à un effet combiné de l'eau apporté par la pluie et des composts. En effet, certains auteurs affirment que l'activité microbienne augmente à des teneurs en humidité du sol favorables (Görres et *al.*, 1998). Par ailleurs, par rapport aux autres traitements, les apports, en matière organiques ont plus d'effet sur les paramètres mesurés. Cela pourrait être expliqué d'une part par une présence importante en microorganisme (densité) dû aux composts comparé au phosphogypse. En effet, même s'il a l'action de remplacement du sodium (Na^+) fixé au complexe absorbant par le calcium (Ca^{2+}) qu'il contient (Ndiaye, 1999), le phosphogypse n'apporte pas des éléments nutritifs supplémentaires au-delà du rôle des Ca^{2+} sur le lessivage du sel Na^+ . L'hypothèse d'une dénaturation de la réaction enzymatique en présence de ce produit serait plausible avec une réduction considérable de la fonction des microorganismes responsables. D'autre part, le pH le plus important noté sur les amendements en compost (F1 et F2) pourrait expliquer l'expression la plus prononcée de ces derniers sur les paramètres biologiques. En se référant aux études de Dick et *al.* (1988), le pH du sol influence la vitesse des réactions enzymatiques en impactant l'ionisation et la solubilité des enzymes et des cofacteurs. En outre, l'activité de la phosphatase acide domine à des pH sensiblement égaux à 5 (Eivazi et Tabatabai, 1977 ; Dick et *al.*, 2000). D'autre part, Dick (1992) affirme que les apports organiques augmentent l'activité biologique. Cela pourrait expliquer les effets faibles du témoin et du phosphogypse observés sur les paramètres chimique et biologique. Par ailleurs, l'effet des amendements et fertilisant sur les paramètres diminue en profondeur. Pour le pH, cette diminution pourrait être due à l'effet superficiel des amendements. En effet, comme le pH optimum pour les deux activités traitées est obtenu au niveau de la couche superficielle, il est plus probable que ces activités y soient plus prononcées. Cela corrobore

avec les résultats d'une étude de De Prado et *al.*, (1982) selon lesquels, l'activité de la phosphatase acide diminue en profondeur.

➤ **Les types d'amendements et de fertilisation minérale recommandée ont-ils influencés les paramètres de rendement ?**

L'action positive du phosphogypse sur le taux de survie des plants du riz pourrait s'expliquer par un effet immédiat de réduction de la salinité. D'après Mutsaers et Van Der Velden, (1973), le gypse entraîne le lessivage des ions sodium (Na^+) et (Cl^-) en faveur des ions bivalents Ca^{2+} , Mg^{2+} et SO_4^{2-} . Ce qui n'est pas le cas des autres types d'amendements. Néanmoins, comparé au témoin, les formules de compost ont eu des effets positifs sur le taux de survie. Le tallage est influencé positivement par l'apport d'amendement. Cette influence est plus marquante suite à la fertilisation minérale. Cela pourrait être dû à l'apport d'urée effectué au tallage. Aussi, durant ce stade le riz est peu sensible à la salinité (Faye *et al.*, 2016). Ce même auteur affirme que le riz est très sensible à la salinité lors de la maturité. Selon Kambou, (1995) l'absorption des éléments minéraux devient maximale au stade de montaison chez le riz. Par ailleurs, lors de cette étude, l'influence des amendements en compost sur le nombre de panicules est significative. Cela pourrait être expliqué par l'apport en élément nutritif que procure ces amendements. Ainsi, Miller *et al.*, (2014) ont montré que le compost est une source directe de nutriments. Aussi, la présence de matière organique dans le sol est primordiale pour maintenir la fertilité du sol et pour réduire les pertes de substances nutritives (Inckel *et al.*, 2005). L'effet significatif des amendements est aussi marqué au niveau du rendement en grains et de la biomasse aérienne. Cet effet est plus observé au niveau des amendements en F1. Cela pourrait être dû à la paille de riz et à la poudrette de coque d'huitre qui fait la spécificité de cette formule. En effet, la poudrette de coque d'huitre riche en calcium permette de fixer les sels présente au sol pendant que la paille de riz facilement dégradable enrichie le sol en éléments nécessaire au développement de la plante. Selon Inckel *et al.* (2005) la matière organique contient des substances nutritives importantes comme l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) qui seront à la disposition des plantes après décomposition. Par ailleurs, ces résultats sont aussi soutenu par quelques études (Nadir, 1965 ; Le Tacon, 1978 ; Ndiaye, 1999 ; SOLAG, 2016) qui affirment que le calcium participe à la formation du complexe argilo-humique, à la conservation du sol et aussi à relever le pH ainsi la disponibilité des nutriments. Aussi, l'azote est un nutriment déterminant dans la croissance des plantes (Danso et Eskew, 1987; Wageningen, 1996).

Conclusion

L'étude sur les effets des composts (F1 et F2), du phosphogypse et de la fertilisation minérale sur les propriétés chimiques, biochimiques et le rendement du riz en sol sulfaté acide a permis de montrer que l'apport en compost bio de formule 1 améliore positivement les paramètres croissance et rendement. Cette amélioration s'est aussi traduit au niveau des paramètres chimiques et biochimiques. Toutefois, la salinité a été plus réduite par le phosphogypse mais cet apport améliore peu les paramètres du rendement.

Cependant, la récupération des sols salés par amendement nécessite un apport riche en calcium pour fixer les sels mais aussi en nutriment bénéfique aux plantes.

Pour avoir une idée plus claire sur les effets des composts, il serait intéressant de :

- étudier la durée de l'effet des apports organiques;
- déterminer l'effet additionnel des apports;
- voir l'effet des amendements combiné avec la FM;
- déterminer entre le système de culture à plat et celui en billon, quel système serait le mieux bénéfique pour les formules de compost.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdourahmane, M.S., 2018. Dégradation des rizières des bas-fonds dans un contexte de changement climatique en Basse Casamance (Sénégal) 15.
- Ahmed, O.A.B., 2012. Soil Salinity Control through Halophytes in Arid and Semi Arid Area in Mauritania 4.
- Albergel, J., Brunet, D., Dubée, G., Montoroi, J.-P., Zante, P., 1992. Gestion d'un barrage anti-sel en basse Casamance (Sénégal) 12.
- Allaoui, A., 2006. Étude comparative de la tolérance de trois porte-greffes d'agrumes à la salinité (Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie). Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan, Maroc 144.
- Amandine, L., 2012. Pédologie III : Notions de base 2 100.
- Aubert, G., 1982. Observations sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodique. p. 6.
- Azontonde, H.A., 1991. Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin 10.
- 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) 8.
- Baeyens, J., 1967. Considérations critiques sur la valeur des résultats de la détermination de la porosité ' totale et de. La distribution des pores du sol (") 150.
- Barbouchi, M., Lhissou, R., Chokmani, K., Abdelfattah, R., El Harti, A., Ben Aissa, N., INRS-ETE, 2013. Caractérisation de la salinité des sols à l'aide de l'imagerie radar satellitaire: cas de la Tunisie et du Maroc 99.
- Bertrand, R., Keita, B., N'Diaye, M.K., 1993. La dégradation des sols des périmètres irrigués des grandes vallées sud-sahariennes (cas de l'Office du Niger au Mali). Cahiers Agricultures 12.
- Birie-Habas, J., 1965. Les recherches rizicoles en Casamance : situation en 1965 10.
- Boivin, P., Le Brusq, J.-Y., 1985. Désertification et salinisation des terres au Sénégal : problèmes et remèdes 8.
- Brady, N.C., 1981. Fundamentals Of Rice Crop Science 279.
- Briat, J.-F., Job, D., 2017. Les sols et la vie souterraine: Des enjeux majeurs en agroécologie. Editions Quae 330.
- Brunet, D., 1994. Un aménagement hydraulique simple pour la réhabilitation des sols salés : , la riziculture en basse Casamance 8.
- Brunet, D., Dobos, A., Fall, M., Montoroi, J.-P., Zante, P., 1991. Projet Pilote " Casamance " Bas-fond de Djiguinoum. Rapport de synthèse 20.

- CEDEAO, UEMOA, CILSS, 2016. Catalogue régional des espèces et variétés végétales CEDEAO-UEMOA-CILSS 114.
- Charreau, C., Fauck, R., 1965. Les sols du Sénégal 45.
- Cheverry, robert, 1998. La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau : Étude et Gestion des Sols 10.
- Cheverry, C., 1994. La dégradation chimique des sols en Bretagne 16.
- Comte, J., Banton, O., Sambou, S., Travi, Y., Ouédraogo, I., 2012. L'aquifère des sables de la presqu'île de Dakar (Sénégal): état de la ressource et impacts anthropiques 9.
- Dabin, B., Ségalen, P., 1970. Le sol, sa définition, ses constituants 17.
- Danso, S.K.A., Eskew, D.L., 1987. Comment renforcer la fixation biologique de l'azote .26.
- De Forges, A.R., Feller, C., Jamagne, M., 2008. Perdus dans le triangle des textures. Etude et Gestion des Sols 16.
- De Prado, R., Tena, M., Pinilla, J.-A., 1982. Relation entre la teneur en matière organique et les activités phosphatasiques de différents sols. *Agronomie* **2**, 539–544. <https://doi.org/10.1051/agro:19820606>
- Delville, P.L., Boucher, L., 1996. Les bas-fonds en Afrique tropicale humide : stratégies paysannes, contraintes agronomiques et aménagements 20.
- Deng, S.P., Tabatabai, M.A., 1997. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. *Biology and Fertility of Soils* **24**, 141–146. <https://doi.org/10.1007/s003740050222>
- Diagne, M.T., Cescas, M.P., 1997. Les méthodes d'analyse multidimensionnelles pour l'évaluation des sols de basses-Casamance (Sénégal) 9.
- Diallo, M.D., Ngamb, T., Tine, A.K., Guisse, M., Ndiaye, O., Saleh, M.M., Diallo, A., Seck, S., Diop, A., Guisse, A., 2015. Caractérisation agropédologique des sols de mboltime dans la zone des niayes (Sénégal). *Agronomie Africaine* **12**.
- Dick, R.P., 1992. A review: long-term effect of agricultural systèmes on soil biochemical and microbial parameters 12.
- Dick, R.P., Rasmussen, P.E., Kerle, E.A., 1988. Influence of long-term residue management on soil enzyme activities in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system. *Biol Fert Soils* **6**. <https://doi.org/10.1007/BF00257667>
- Dick, W.A., Cheng, L., Wang, P., 2000. Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biology and Biochemistry* **32**, 1915–1919. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00166-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00166-8)

- Dick, W.A., Tabatabai, M.A., 1984. Kinetic parameters of phosphatases in soils and organic waste materials: *Soil Science* **137**, 7–15. <https://doi.org/10.1097/00010694-198401000-00002>
- Dörfliger, N., 2013. Entre terre et mer, les eaux souterraines du littoral. *Between land and sea* 9.
- Droubi, A., Fritz, B., Tardy, Y., 1976. Equilibres entre minéraux et solutions : programmes de calcul appliqués à la prédiction de la salure des sols et des doses optimales d'irrigation 26.
- Dubendorf, 1978. METHODS OF ANALYSIS OF SEWAGE SLUDGE SOLID WASTES AND COMPOST.
- Duguet, F., 2005. Minéralisation de l'azote et du phosphore dans les sols organiques cultivés du Sud-Ouest du Québec 105.
- EEDD, 2012. Guide pédagogique les sols 32.
- Eivazi, F., Tabatabai, M.A., 1977. Phosphatases in soils. *Soil Biology and Biochemistry* **9**, 167–172. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(77\)90070-0](https://doi.org/10.1016/0038-0717(77)90070-0)
- Faye, O.N., Gueye, T., Dieng, A., 2016. Effets de la salinité au champ sur des paramètres agronomiques de 23 variétés de riz. *Journal of Applied Biosciences* **103**:9854 – 9869.
- 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. <https://doi.org/10.1051/agro:19810806>
- Filiatrault, P., 2008. Revue de la littérature portant sur les rapports sol-plante en ligniculture 40.
- Frissant, N., René-Corail, C., 2005. Le phénomène d'intrusion saline à la Réunion: Etat des connaissances et synthèse des données disponibles 66.
- Gelin, S., Stengel, P., 1998. Sol : interface fragile. Editions Quae 228.
- Gobat, J.-M., Aragno, M., Matthey, W., 2010. Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols. PPUR Presses polytechniques.
- Görres, J.H., Dichiaro, M.J., Lyons, J.B., Amador, J.A., 1998. Spatial and temporal patterns of soil biological activity in a forest and an old field. *Soil Biology and Biochemistry* **30**, 219–230. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00107-7)
- Gouaidia, L., Guefaifia, O., Boudoukha, A., LaidHemila, M., Martin, C., 2012. Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est Algérien). *physio-geo* 141–160. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.2632>

- Guillou, J.J., Debenay, J.P., Pagès, J., Villemin, G., 1991. Cristallogenèse du gypse fibreux et évolution en monocristaux tabulaires (ria de la Casamance, Sénégal) 7.
- Hachicha, M., 2007. Les sols salés et leur mise en valeur en Tunisie 18, 6.
- Hayano, K., 1973. A method for the determination of β -glucosidase activity in soil. *Soil Science and Plant Nutrition* 19, 103–108. <https://doi.org/10.1080/00380768.1973.10432524>
- Igué, A.M., Agossou, V., 2008. Influence des systèmes d'exploitation agricole sur l'intensité de la dégradation des terres dans le Département des Collines au Bénin 13.
- Imalet R., 1979:influence de différentes concentrations de sels (nacl, na2so4, mgso4) des eaux d'irrigation de l'agriculture sur le rendement du haricot. Thèse ing, ina, el harrach ,43p.
- Inckel, M., de Smet, P., Tersmette, T., Veldkamp, T., 2005. La fabrication et l'utilisation du compost 73.
- INP, 2013. Atelier de lancement du partenariat sur les sols 15.
- INP, 2009. Rapport-d-activite-2008 141.
- IRD, 2017. Face à la salinisation des terres cultivées. *Le journal de l'IRD* - n° 84 1.
- ISRA, 2012. Guide de production de riz pluvial 36.
- Jacq, V., 1975. La sulfato-réduction en relation avec l'excrétion racinaire. *Bulletin de la Société Botanique de France* 122, 169–181. <https://doi.org/10.1080/00378941.1975.10839363>
- Kambou, D., 1995. Thème: Système de culture et rentabilité 109.
- Khan, M.A., Ungar, I.A., 1984. The effect of salinity and temperature of the germination of polymorphic seeds and growth of *atriplex triangularis* WILLD 71.
- Kwey, M.M., Banze, S.K., Mukalay, J.B., 2015. (PDF) Etude de cas sur l'impact des amendements organiques vis-à-vis de la salinité en culture de bananier 11, 152–160.
- Lahlou, M., Badraoui, M., Souidi, B., Goumari, A., Tessier, D., 2002. Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols 20.
- Lahmar, R., Ruellan, A., 2007. Dégradation des sols et stratégies coopératives en Méditerranée : la pression sur les ressources naturelles et les stratégies d. *Cahiers Agricultures* 16, 318–323. <https://doi.org/10.1684/agr.2007.0119>
- Le Tacon, F., 1978. La présence de calcaire dans le sol. Influence sur le comportement de l'Épicéa commun (*Picea excelsa* Link.) et du Pin noir d'Autriche (*Pinus Nigra nigricans* Host.). *Ann. Sci. Forest.* 35, 165–174. <https://doi.org/10.1051/forest/19780205>

- Legros, P.J.-P., 2009. La salinisation des terres dans le monde 14.
- Loyer, J.Y., Boivin, P., 1986. Les sols du domaine fluvio-marinde Casamance (Sénégal): Evolution récente et reevaluation des contraintes majeures pour leur mise en valeur 8.
- Maillard, J., 2001. Le Point Sur Lirrigation Et La Salinite Des Sols en Zone Aride | Irrigation | Osmose 8.
- Makoi, J.H.J.R., Verplancke, H., 2010. Effect of gypsum placement on the physical chemical properties of a saline sandy loam soil 8.
- Manzelli, M., Bacci, M., Fiorillo, E., Tarchiani, V., 2013. Diagnostique de la riziculture de bas-fonds dans la region de Sedhiou.
- Marlet, S., Job, J.O., 2006. Processus et Gestion de la Salinité des sols. Traité d'irrigation, seconde édition 29.
- Mermoud, A., 2006. Matrise de la salinité des sols. Cours physique du sol 15.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11625-013-0224-6>
- Montoroi, J.-P., 2017. La salinisation des écosystèmes : de la dégradation insidieuse à la remédiation continue par les hommes 7.
- Montoroi, J.-P., 1998. La riziculture inondée en Basse-Casamance (Sénégal) 22.
- Montoroi, J.P., 1996. Mise en valeur des bas-fonds en basse-Casamance (Sénégal) 13.
- Montoroi, J.P., 1993. Les sols et l'agriculture dans le domaine esyuarlen de basse casamance 9.
- Mozafar, A., Goodin, J.R., 1970. Vesiculated Hairs: A Mechanism for Salt Tolerance in *Atriplex halimus* L. *Plant Physiol.* **45**, 62–65. <https://doi.org/10.1104/pp.45.1.62>
- Mutsaers, H., Van Der Velden, J., 1973. Le dessalment des terres saeles du delta du pleuve senegal bilan des trois annees d'»experimentations (1970 - 1973) et perspectives 175.
- Nadir, M., 1965. Contributiona la determinatioi\t d'une fumure ratioinnelle des agrumes par l'analyse foliaire 28.
- Ndiaye, J.P., 1999. Utilisation du phosphogypse dans les sols de la vallée alluviale du Sénégal.
- Ndiaye, O., Diallo, A., Matty, F., Thiaw, A., Fall, R., Guisse, A., 2012. Caractérisation des sols de la zone des Niayes de Pikine et de Saint Louis (Sénégal). *Int. J. Bio. Chem. Sci* **6**, 519–528. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i1.46>
- Negrão, S., Schmöckel, S.M., Tester, M., 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Ann Bot* **119**, 1–11. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw191>

- Noblet, M., Faye, A., Camara, I., Seck, A., Sadio, M., Bah, A., 2018. Etat des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques pour les secteurs des ressources en eau, de l'agriculture et de la zone côtière 92.
- Noomene, H., 2011. Memoire Online - Etude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de Kalàçat Landelous en Tunisie: cas d'une parcelle de courge - [WWW Document]. Memoire Online. URL <https://www.memoireonline.com/11/13/7973/Etude-de-la-salinite-des-sols-par-la-methode-de-detection-electromagnetique-dans-le-perimetre.html> (accessed 11.20.19).
- 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.
- Olivry, J.C., 1983. Les conséquences durables de la sécheresse actuelle sur l'écoulement du fleuve Sénégal et l'hyper-salinisation de la basse-Casamance 12.
- Redondo-Gomez, S., Mateos-Naranjo, E., Davy, A.J., Fernandez-Munoz, F., Castellanos, E.M., Luque, T., Figueroa, M.E., 2007. Growth and Photosynthetic Responses to Salinity of the Salt-marsh Shrub *Atriplex portulacoides*. *Annals of Botany* **100**, 555–563. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm119>
- 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., Debuissou, S., Défossez, P., Gérard, F., Lévêque, E., Lévêque, F., Mary, B., Mumen, M., Ranger, J., Tabbagh, A., Tabbagh, J., 2011. Dégradation physique des sols agricoles et forestiers liée au tassement : principaux résultats du projet GESSOL-ADD DST. *Etude et Gestion des Sols* 14.
- Rouabhia, A.E.K., Djabri, L., 2010. L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'el ma el abiod.
- Sadio, S., 1995. Dégradation physique des sols et lutte contre l'érosion 6.
- 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.
- Samba-Diène, R., 1998. Riziculture et dégradation des sols en vallée du fleuve Sénégal : analyse comparée des fonctionnements hydro-salins des sols du delta et de la moyenne vallée en simple et double riziculture 175.
- Schmitz, M., 1984. Instruments aratoires, systèmes de cultures et différenciation intraethnique 27.
- Seck, P.A., Togola, A., Touré, A., Diagne, A., 2013. Propositions pour une optimisation des performances de la riziculture en Afrique de l'Ouest **22**, 361–368.

- Sene, J., Matty, F., Diatta, M., 2014. Caractérisation des sols de la vallée rizicole de Tamra dans l'île de Mar, Centre-Ouest du Sénégal. *Int. J. Bio. Chem. Sci* **8**, 794. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i2.35>
- SOLAG, 2016. Le calcium dans le sol. *Bulletin Sol et Agronomie des Chambres d'agriculture des Pays de la Loire* **8**, 2.
- Sun, F., Zhang, W., Hu, H., Li, B., Wang, Y., Zhao, Y., Li, K., Liu, M., Xia, L., 2008. Salt Modulates Gravity Signaling Pathway to Regulate Growth Direction of Primary Roots in *Arabidopsis* **146**, 178–188.
- Tabatabai, M.A., Bremner, J.M., 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry* **1**, 301–307. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(69\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1)
- 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**.
- Tester, M., 2003. Na⁺ Tolerance and Na⁺ Transport in Higher Plants. *Annals of Botany* **91**, 503–527. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg058>
- Tiercelin, J.-R., Vidal, A., Tardieu, H., 2006. *Traité d'irrigation* 29.
- Vieillefon, J., 1969. La pédogenèse dans les mangroves tropicales : un exemple de chronoséquence 36.
- Wageningen, 1996. *Thèmes prioritaires d'information pour l'agriculture des pays ACP*.