

UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



N° d'ordre :
86

ECOLE DOCTORALE : SCIENCES TECHNOLOGIES ET INGENIERIE

UFR Sciences et Technologies

THESE DE DOCTORAT

**EFFETS DE LA MYCORHIZATION ET DES AMENDEMENTS ORGANIQUES
SUR LA DIVERSITE FLORISTIQUE, LE SOL ET LE RENDEMENT DU RIZ
(Oryza sativa L.) EN MILIEU SALIN (CASAMANCE, SENEGAL)**

Présentée par :

M. Yaya DIATTA

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université Assane Seck de Ziguinchor

Spécialité : Agroforesterie et Productions Végétales

Soutenue publiquement le 06/12 /2023, devant le jury composé de :

Président	M. Aliou GUISSÉ	Professeur Titulaire UCAD (Dakar, Sénégal)
Rapporteurs	M. Ismaïla COLY	Maître de Conférences UASZ (Ziguinchor, Sénégal)
	M. Adama DIOUF	Maître de Conférences UCAD (Dakar, Sénégal)
	M. Ousmane NDIAYE	Maître de Conférences UIDT (Thiès, Sénégal)
Examineurs	M. Joseph Saturnin DIEME	Maître-assistant UASZ (Ziguinchor, Sénégal)
Directeur	Mme Siré DIEDHIOU	Maître de Conférences UASZ (Ziguinchor, Sénégal)

Dédicaces

Nous rendons grâce à Allah le tout Puissant, le très Miséricordieux qui nous a donné la santé, et le courage de mener ce travail. Et nous prions sur son prophète Mouhamad (Paix et Salut sur lui).

A mes parents, pour les valeurs d'humanisme qu'ils m'ont inculquées. Ce travail n'est que le résultat de tant d'efforts et de sacrifices que vous avez consentis pour l'éducation de vos enfants. Que Dieu vous bénisse !

A Feue, Professeure Mariama Dalanda DIALLO, Enseignante-Chercheure à l'Université Gaston Berger, Sénégal

A la famille SAGNA de Essyl, et TENDENG de Selecky pour leur accueil et leur aide

REMERCIEMENTS

Ce présent travail est le fruit de collaboration de plusieurs personnes. Nous exprimons à tous notre profonde gratitude pour les efforts accomplis pour sa réalisation.

Je tiens à remercier et à exprimer ma sincère gratitude au docteur Sire DIEDHIOU enseignante-chercheuse au département d'Agroforesterie de l'UASZ, pour sa confiance, son encadrement, ses conseils, ses encouragements, ses orientations et aussi pour le temps consacré pour l'avancement de mon travail. Qu'elle trouve ici toute ma reconnaissance !

Une profonde gratitude et une pensée pieuse à Feue, Professeure Mariama Dalanda DIALLO, pour avoir suivi les premières étapes de ce travail. Son aide et ses orientations nous ont été très précieuses. Que la terre lui soit légère et que le bon Dieu l'accueille dans son paradis, Amin !

Mes vifs remerciements au docteur Saliou FALL, qui a accepté de m'accueillir au sein de son laboratoire. Je suis très sensible à l'honneur qu'il m'a fait de superviser ce travail. Je souhaiterais lui témoigner ma sincère considération pour tous les conseils ayant servi à faire avancer ce travail. Je lui suis reconnaissant pour sa constante disponibilité et son profond dévouement.

Ma considération s'adresse également au Professeur Ibrahima NDOYE pour avoir été présent tout au long de ce travail !

Je témoigne toute ma gratitude au Professeur Aliou GUISSSE pour m'avoir fait l'honneur non seulement de juger ce travail mais aussi de présider le jury. Je remercie vivement Dr. Ismaila COLY, Dr. Adama DIOUF et Dr. Ousmane NDIAYE pour avoir accepté d'être rapporteurs de cette thèse. Mes remerciements vont également à l'endroit de Dr. Joseph Saturnin DIEME qui a accepté d'examiner cette thèse. Je suis sensible à l'honneur que les membres ce jury me font, en acceptant de juger ce travail malgré leurs multiples occupations. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude. Vos jugements et suggestions objectifs seront d'un apport significatif pour rehausser la facture scientifique de cette thèse.

J'exprime ma reconnaissance et j'adresse un remerciement particulier à l'ensemble des enseignants du département d'Agroforesterie, pour la rigueur dans la formation dispensée, nommément : Dr. Djibril SARR, chef de département, Dr. Mouhamed Mahmoud CHARAHABIL, Dr. Ngor NDOUR, Dr. Ismaila COLY, Dr. Antoine SAMBOU, Dr. Aly DIALLO, Dr. Boubacar CAMARA, Dr. Saturnin DIEME, Dr. Saboury NDIAYE, Dr. Abdoulaye SOUMARE, Dr. Oulimata DIATTA. Vous m'avez appris à prendre du recul par rapport à mes travaux. Encore merci pour les discussions scientifiques.

J'exprime une profonde gratitude à tous ceux qui m'ont appuyé dans la collecte des données. Je veux nommer Dr. Arfang Kémo Ousmane GOUDIABY, Jean BASSENE, Yves paterne SAGNA, Ibrahima BADIANE, Mamadou SOW, Pierre Claver César DIEDHIOU et Dr Mamadou Abdoul Ader DIEDHIOU, Merci pour votre soutien.

Je remercie aussi Monsieur TENDENG, et toute sa famille qui m'ont accueilli durant mes activités de recherches. Trouvez ici l'expression de ma profonde reconnaissance, pour votre hospitalité, votre générosité et pour toute votre affection.

Il m'est agréable d'exprimer mes remerciements, ma reconnaissance et toute ma gratitude à tous les étudiants du département d'Agroforesterie, mention spéciale à mes camarades de la sixième promotion. Trouvez ici ma profonde gratitude pour votre dévouement amical.

Toute ma gratitude, mon grand respect à mes très chers parents pour l'éducation, l'amour, la patience, la compréhension et surtout l'affection et leurs prières. Merci chers parents ! Puisse Dieu vous donner longue vie.

J'adresse également mes remerciements aux autorités administratives de l'UASZ et de l'Ecole Doctorale « Sciences Technologie et Ingénierie », EDSTI, particulièrement au Pr. KOBOR, Directeur de l'école doctorale pour sa disponibilité

Je ne pourrai terminer mes remerciements sans y associer mes parents, mes frères, mes sœurs, et également mes collègues du Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie (LAFE), merci de m'avoir toujours soutenu.

TABLE DES MATIERES

Dédicaces	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	x
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES TABLEAUX	xiii
Résumé	xiv
Abstract	xv
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : CADRE CONCEPTUEL DE L'ETUDE	4
.....	4
1.1 Généralité sur le riz	4
1.1.1 Taxonomie du riz.....	4
1.1.2 Morphologie du riz.....	4
1.1.3 Organes végétatifs	5
1.1.4 Organes reproductifs	6
1.1.5 Cycle végétatif du riz	6
1.1.5.1 Phase végétative	6
1.1.5.2 Phase reproductive	7
1.1.5.3 Phase de maturation du grain	7
1.1.6 Ecologie du riz.....	7
1.2 Généralité sur la salinité	8
1.2.1 Définition de la salinité et de la salinisation.....	8
1.2.2 Salinisation primaire.....	8
1.2.3 Salinisation secondaire	8
1.2.4 Classification des sols en fonction de la salinité	8
1.2.5 Impact de la salinité sur les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols	9
1.2.6 Impact de la salinité sur la croissance végétative et le rendement des espèces	9
1.2.7 Mécanismes d'adaptation des plantes au stress salin	9
1.2.7.1 L'ajustement osmotique	10
1.2.7.2 L'inclusion ou compartimentation	10
1.2.7.3 L'exclusion.....	11
1.3 Généralité sur les amendements organiques.....	11
1.3.1 Le biochar.....	11
1.3.1.1 Définition et historique.....	11
1.3.1.2 Effets du biochar sur les propriétés physiques du sol.....	12

1.3.1.3	Effets du biochar sur les microorganismes du sol	12
1.3.1.4	Effet du biochar sur le rendement des cultures.....	13
1.3.2	Compost d’anacarde	13
1.3.2.1	Définition et origine du compost.....	13
1.3.2.2	Effets du compost sur le sol.....	13
1.3.2.3	Effets des amendements organiques dans l’amélioration de la fertilité des sols salés et des rendements des cultures	14
1.3.2.4	Effet du compost sur les rendements des cultures	15
1.4	Généralité sur les champignons mycorhiziens	15
1.4.1	Définition.....	15
1.4.2	Types de mycorhization	15
1.4.2.1	Les endomycorhizes	16
1.4.2.2	Les ectomycorhizes	16
1.4.2.3	Les ectendomycorhizes	16
1.4.3	Effet des champignons mycorhiziens sur le sol et sur la disponibilité en éléments nutritifs aux plantes	17
1.4.4	Effet des champignons mycorhiziens sur la tolérance des plantes à la salinité.....	19
1.5	Présentation de la zone d’étude	19
1.5.1	Climat	20
1.5.2	Pluviométrie et température	20
1.5.3	Hydrographie.....	21
1.5.4	Sols	21
1.5.5	Agriculture.....	21
1.5.6	Elevage	22
1.5.7	Flore et végétation.....	22

CHAPITRE 2 : PERCEPTION ET STRATEGIES D’ADAPTATION DES PRODUCTEURS FACE A LA SALINISATION DES VALLEES RIZICOLES DE LA COMMUNE D’ENAMPORE EN BASSE CASAMANCE

.....	23
Résumé	23
Abstract	24
2.1. Introduction	25
2.2. Matériel et Méthodes.....	26
2.2.1. Méthodes	26
2.2.1.1. Enquêtes	26
2.2.1.2. Choix des sites et répartition des enquêtés	26
2.2.1.3. L’échantillonnage et base de sondage	26

2.2.1.4.	Les enquêtes socioéconomiques.....	27
2.3.	Résultats	27
2.3.1.	Caractéristiques socio-démographiques des producteurs	27
2.3.2.	Caractérisation du système de production rizicole	28
2.3.2.1.	Types de riziculture, durée des plants en pépinière, variétés utilisées et leurs cycles de croissance.....	28
2.3.2.2.	Types de labour, matériels utilisés et écartements adoptés pour le repiquage	29
2.3.3.	La salinisation des rizières, un facteur contraignant à la production rizicole : apparition, causes et processus	30
2.3.4.	Facteurs environnementaux causant la perte des plants de riz et des superficies cultivables dans les vallées d'Enampore	30
2.3.5.	Stratégies d'adaptation développées par les producteurs pour atténuer l'effet du sel sur la production rizicole.....	31
2.3.5.1.	Evaluation de l'efficacité des différentes stratégies adoptées, les difficultés rencontrées et les solutions proposées par les producteurs pour minimiser l'effet du sel sur la riziculture	32
2.3.6.	Les principales activités connexes à la culture du riz.....	33
2.4.	Discussion	33
2.5.	Conclusion.....	35

CHAPITRE 3 : EFFETS DES TYPES D'OCCUPATION DU SOL SUR LES CARACTERISTIQUES DE LA VEGETATION LIGNEUSE DANS LA COMMUNE D'ENAMPORE, SENEGAL

.....		37
Résumé		37
Abstract		38
3.1.	Introduction	39
3.2.	Matériel et Méthodes.....	39
3.2.1.	Echantillonnage et collecte de données	39
3.2.2.	Analyse et traitement des données	41
3.3.	Résultats	43
3.3.1.	Caractérisation du sol	43
3.3.2.	Composition floristique et diversité	44
3.3.3.	Différence de composition d'espèces	46
3.3.4.	Structure de la végétation ligneuse.....	49
3.3.4.1.	Structure par centre de classes de diamètre	49
3.3.4.2.	Structure par centre de classes de hauteur	51
3.4.	Discussion	53
3.5.	Conclusion.....	55

CHAPITRE 4 : EFFETS DE L'INOCULATION ET DES AMENDEMENTS ORGANIQUES (BIOCHAR ET COMPOST) SUR LA CROISSANCE ET LA PRODUCTION DU RIZ EN MILIEU SALIN

.....	56
Résumé	56
Abstract	57
4.1. Introduction	58
4.2. Matériel et Méthodes.....	59
4.2.1. Matériel végétal, amendements organiques et champignons	59
4.2.2. Dispositif expérimental et conduite de l'essai.....	59
4.2.3. Collecte des données	60
4.2.4. Fréquence et intensité de mycorhization	60
4.3. Résultats	61
4.3.1. Taux de survie des plants à différentes doses de sels en fonction des amendements, des dates de mesure et suivant les années	61
4.3.2. Variation de la hauteur des plants à différentes doses de sel en fonction des traitements	63
4.3.3. Variation du nombre de talles à différentes doses de NaCl en fonction des traitements	63
4.3.4. Variation de la biomasse végétale sèche (aérienne et racinaire) des plants de riz en fonction des traitements.....	68
4.3.5. Variation de l'indice de tolérance suivant les différents traitements.....	69
4.3.6. Influence du NaCl et des amendements organiques sur la mycorhization	69
4.3.7. Corrélation entre les différents traitements et les paramètres étudiés	71
4.4. Discussion	73
4.4.1. Effet du NaCl, du champignon mycorhizien (<i>Glomus mosseae</i>), et de l'amendement organiques sur la croissance et la production en matière sèche du riz	73
4.4.2. Effet du NaCl et des amendements organiques sur la Mycorhization.....	74
4.5. Conclusion.....	75

CHAPITRE 5 : EFFETS DES AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR LA CROISSANCE, LE RENDEMENT DU RIZ, LA DYNAMIQUE ET LA COMPOSITION DES ESPECES HERBACEES EN MILIEU SALIN DANS LA COMMUNE D'ENAMPORE EN BASSE CASAMANCE (SENEGAL)

.....	76
Résumé	76
Abstract	77
5.1. Introduction	78
5.2. Matériel et méthodes	79
5.2.1. Matériel végétal et organique	79
5.2.2. Dispositif expérimental et méthodes d'inventaire des herbacées.....	79

5.2.3.	Aménagement des casiers rizicoles	81
5.2.4.	Les paramètres agro-morphologiques collectés	81
5.2.4.1.	Le taux de survie des plants.....	82
5.2.4.2.	Le nombre de talles des plants.....	82
5.2.4.3.	La hauteur moyenne des plants	82
5.2.4.4.	Le nombre de panicule par plante.....	82
5.2.4.5.	La masse moyenne des panicules, biomasse sèche aérienne et racinaire	82
5.2.4.6.	La masse des 1000 grains	82
5.2.4.7.	Le rendement.	82
5.2.5.	Paramètres physico-chimiques du sol	82
5.2.5.1.	Echantillonnage du sol	82
5.2.6.	Paramètres de diversité floristique	83
5.2.6.1.	Hauteur moyenne.....	83
5.2.6.2.	Taux de couverture des herbacées :.....	83
5.2.6.3.	La fréquence spécifique de présence (FSP).....	83
5.2.6.4.	La contribution spécifique présence (CSP)	83
5.2.6.5.	L'indice de Shannon Weaver (H'),	84
5.2.6.6.	L'indice de régularité (E)	84
5.2.6.7.	L'indice de diversité bêta (β).....	84
5.3.	Résultats	85
5.3.1.	Texture du sol.....	85
5.3.2.	Effets des amendements organiques sur les propriétés chimiques du sol	86
5.3.3.	Effets des amendements organiques sur les paramètres de croissance des plants de riz	88
5.3.3.1.	Taux de survie des plants	88
5.3.3.2.	Variation de la hauteur moyenne des plants.....	88
5.3.3.3.	Variation du nombre de talles des plants de riz.....	89
5.3.4.1.	Variation des paramètres de rendement.....	90
5.3.5.	Corrélation entre les éléments physico-chimiques du sol et les paramètres du riz dans les deux sites en fonction de l'apport d'amendements organiques.....	93
5.3.6.	Effets des amendements organiques sur la diversité floristique des herbacées	94
5.3.6.1.	Richesse spécifique par site, par zone en fonction des amendements organiques	94
5.3.6.2.	Proportion des familles d'adventices répertoriées.....	95
5.3.6.3.	Effet des traitements sur la fréquence des adventices	96
5.3.6.4.	Hauteur moyenne des adventices	96
5.3.6.5.	Recouvrement des adventices.....	97
5.3.6.6.	Les indices de diversités.....	98
5.4.	Discussion	99

5.4.1. Caractéristiques physiques des sols et effets des amendements organiques sur les propriétés chimiques du sol.....	99
5.4.2. Effet des amendements organiques sur la survie des plants de riz et les paramètres de croissance	100
5.4.3. Effet des amendements organiques sur les paramètres de production et de rendement du riz	100
5.4.4. Effet des amendements organiques sur la diversité floristique des herbacées	101
5.5. Conclusion.....	102

CHAPITRE 6 : DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE

.....	104
6.1. Discussion générale.....	104
6.1.1. Quelles stratégies d'adaptation adopter pour minimiser l'effet du sel sur le sol et la production de riz ?.....	105
6.1.2. Structure et composition floristiques des espèces ligneuses suivant les types d'occupation de sol.....	105
6.1.3. L'association amendements organiques et champignons mycorhizien : une approche pour améliorer le rendement du riz en présence de sel.....	106
6.1.4. Des amendements organiques efficaces (biochar et compost d'anacarde) pour améliorer la fertilité des sols et la croissance du riz en conditions salines	107
6.1.5. Les amendements organiques et la salinité influencent-ils la diversité spécifique des herbacées.	107
6.2. Conclusion générale et perspectives.....	108
6.2.1. Conclusion générale	108
6.2.2. Perspectives	109

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

ANOVA : Analyse de la variance

ADRAO : Association pour le Développement du Riz en Afrique de l'Ouest

ANCAR : Agence Nationale pour le Conseil Agricole et Rural

APRAO : Amélioration Production Riz en Afrique de l'Ouest

ANACIM : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie

APRAN : Association pour la Promotion Rurale de l'Arrondissement de Nyassia

ACPP : Assemblée de coopération pour la paix

CADL : Centres d'appui au développement local

CMA : Champignons Mycorhizien Arbusculaire

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

CEC : Capacité d'échange cationique

FAOSTAT : Food and Agriculture Organization Statistics

JAA : Jour après amendement

JAR : Jour après repiquage

JAS : Jour après semis

LADA : Land Degradation Assessment

PROGERT : Projet de gestion et de restauration des Terres dégradées du Bassin Arachidier

PADERCA : Projet d'appui au développement rural en Casamance

PLD : Plan Local de Développement

PNAR : Programme National d'Assainissement Rural

NACE : Note d'Analyse de la Conjoncture Économique

UASZ : Université Assane Seck de Ziguinchor

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Représentation schématique d'un plant de riz	5
Figure 2: Représentation schématique des trois principales phases de développement du riz (APRAO, 2012).....	6
Figure 3: Les différents types d'associations mycorhiziennes sur une coupe transversale de racine (Le Tacon, 1985).....	17
Figure 4: Carte de localisation des sites d'études.....	20
Figure 5: Évolution annuelle de la pluviométrie à la station de Ziguinchor de 1991 à 2021	21
Figure 6: Situation matrimoniale (a) et niveaux d'études (b).....	28
Figure 7: Différentes variétés cultivées (améliorées (a) et locales (b)) et leur cycle de croissance (c)	29
Figure 8: Outils utilisés pour le labour (a) et différents écartements utilisés lors du repiquage (b).....	29
Figure 9: Causes (a), processus de salinisation (b) et chronologie de la salinisation (c).....	30
Figure 10: Effets du sel sur le sol (a) sur les plants de riz (b), autres contraintes (c) et parcelles perdues (d).....	31
Figure 11: Stratégies (a), techniques agricoles (b) et types d'ouvrages (c).....	32
Figure 12: Efficacité des stratégies adoptées (a), les difficultés rencontrées (b) et les différentes solutions proposées pour réduire l'effet du sel sur le rendement du riz	33
Figure 13: Activités connexes à la riziculture	33
Figure 14: Localisation des placettes d'inventaire suivant les types d'occupation pour les sites de Essyl et de Selecky	41
Figure 15: Dendrogramme des groupes pour les sites de Selecky (A) et Essyl (B).....	48
Figure 16: Analyse en composantes principales basée sur toutes les variables explicatives pour les sites de Selecky(A) et Essyl (B).	49
Figure 17: Distribution des individus du peuplement ligneux des différents types d'occupation par centre de classe de diamètre dans les sites d'Essyl (A) et de Selecky (B) avec surimposition de la distribution de Weibull	50
Figure 18: Distribution des individus du peuplement ligneux des différents types d'occupation par centre de classe de hauteur dans les sites de Selecky (A) et d'Essyl (B) avec surimposition de la distribution de Weibull	52
Figure 19: Dispositif expérimental.....	60
Figure 20: Effet des amendements organiques associé au CMA sur l'accroissement moyen en hauteur des plants en condition de stress salin : a (0 dS.m ⁻¹), b (2,7 dS.m ⁻¹) et c (5,4 dS.m ⁻¹)	64
Figure 21: Effet des amendements organiques associé au CMA sur le nombre de talles des plants en condition de stress salin : a (0 dS.m ⁻¹), b (2,7 dS.m ⁻¹) et c (5,4 dS.m ⁻¹)	66
Figure 22: Photos montrant les différentes vésicules et hyphes des racines de riz (crédit photo Yaya DIATTA).....	71
Figure 23: Corrélations entre les paramètres étudiés et les différents traitements sur le plan factoriel (F1 et F2) suivant les doses de sel et les années d'expérimentation.....	72
Figure 24: Dispositif expérimental en milieu paysan.....	80
Figure 25: Schéma illustrant la pose des quadrats au niveau du casier rizicole	81
Figure 26: Pépinière de riz (A), labour des parcelles (B).....	81
Figure 27: variation de la hauteur des plants en fonction des traitements.....	89
Figure 28: Variation du nombre de talles en fonction des traitements	89
Figure 29: Corrélations entre les paramètres du riz, les paramètres du sol (Physique et chimique) et les amendements organiques	93
Figure 30: Variation de la fréquence des adventices inventoriées en fonction des amendements organiques, des sites, des zones et suivant les années.	96
Figure 31: Variation de la hauteur moyenne des adventices en fonction des amendements organiques, des sites, des zones et suivant les années.	97

Figure 32: Taux de recouvrement moyen des adventices en fonction des amendements organiques, des sites, des zones et des années. 98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification des sols salés (Maillard, 2001)	8
Tableau 2: Répartition des ménages enquêtés suivant les villages	26
Tableau 3: Variation du pH et de la conductivité électrique (CE) du sol des différents types d'occupation sur les deux sites	44
Tableau 4: Liste des espèces recensées dans les deux sites.....	45
Tableau 5: Test des différences sur la structure et la diversité de la végétation pour les types d'occupation du sol dans les deux sites, avec les valeurs moyennes pour chaque variable dans chaque type d'occupation	46
Tableau 6: Matrice de dissimilarité entre les différents types d'occupation dans les deux sites.	47
Tableau 7: Analyse de régression de l'influence des classes de paysage du pH et de la CE sur la composition, la structure et la distribution de la végétation	53
Tableau 8: Taux de survie des plants à différentes doses de sel en fonction des traitements et des dates de mesure.....	62
Tableau 9: Hauteur moyenne des plants en fonction des traitements et des dates de mesure suivant différentes doses de NaCl.....	65
Tableau 10: Nombre de talles en fonction des amendements organiques et suivant les dates de mesure et doses de NaCl.....	67
Tableau 11: Biomasse végétale, biomasse aérienne, biomasse racinaire des plantes en fonction des traitements.	68
Tableau 12: Indices de tolérance à la salinité (%) de la biomasse aérienne sèche après 2 mois de culture en fonction des traitements.....	69
Tableau 13: Variation de la fréquence et de l'intensité de mycorhization des plants de riz en fonction des traitements	70
Tableau 14: Composition chimique des amendements organiques : biochar et compost d'anacarde..	79
Tableau 15: Composition physique du sol prélevé à différentes profondeurs en fonction de la salinité de la zone dans les deux sites	85
Tableau 16: Propriétés chimiques du sol prélevé à différentes profondeurs en fonction des amendements organiques et de la salinité de la zone dans les deux sites.....	87
Tableau 17: Taux de survie des plants en fonction des différents traitements, suivant les dates d'échantillonnage et les années	88
Tableau 18: Effet des amendements organiques sur les paramètres de production dans les zones salée et non-salée pour les deux sites	90
Tableau 19: Effet des amendements organiques sur les paramètres de rendement dans les zones salée et non-salée pour les deux sites	92
Tableau 20: Richesse spécifique suivant les sites, les zones salée et non-salée et en fonction des amendements organiques	94
Tableau 21: Proportion des familles d'adventices répertoriées.....	95
Tableau 22: Structure de la flore.....	95
Tableau 23: Variation de la diversité et de l'abondance des espèces en fonction de l'année, du sites, zones et des différents amendements organiques	99
Tableau 24: Effet des amendements organiques sur l'indice de dissimilarité	99

Résumé

En Casamance, la riziculture constitue une activité importante et culturelle pour les populations locales qui a connu une baisse de rendements exacerbée par les changements climatiques mais également par une baisse de la fertilité des sols. Conséquemment, plusieurs stratégies sont développées pour améliorer la production rizicole et des études sont entreprises pour mieux comprendre l'impact de ces stratégies. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce présent travail qui contribue à une meilleure connaissance de l'effet de la salinité et des amendements organiques sur la diversité floristique, sur les propriétés physiques et chimiques du sol et sur le rendement du riz à Enampore, en Basse Casamance. Spécifiquement, il s'est agi de : (i) recueillir la perception des producteurs sur l'impact de la salinité sur la production rizicole des vallées ; (ii) déterminer la composition floristique suivant les types d'occupation du sol ; (iii) déterminer l'effet combiné de l'inoculation et des amendements organiques (biochar et compost) sur la croissance et rendement du riz en milieu salin ; (iv) déterminer l'effet des amendements organiques sur les caractéristiques chimiques du sol, la dynamique et la composition des espèces herbacées en milieu salin dans les champs des producteurs. Quatre types d'activités principales ont été menées : (i) une enquête ménage concernant la perception des producteurs sur les stratégies d'adaptation face à la salinisation des terres rizicoles ; (ii) un inventaire des herbacées et des espèces ligneuses ; (iii) une installation d'un dispositif expérimental en milieu semi contrôlé et au champ pour évaluer certains paramètres liés à la croissance, à la physiologie et au développement du riz (iv) des prélèvements de sol effectués à différentes profondeurs et leur analyse. Pour la première activité, l'utilisation d'amendements organiques ainsi que la mise en place de digues anti-sel sont les stratégies les plus adoptées, respectivement pour 69,5% et 67,6% des enquêtés. Il y'a eu au total 24 espèces herbacées réparties dans 22 genres et 11 familles. Les familles dominantes sont représentées par les *Poaceae* (25%) et les *Cyperaceae* (25%). Quant aux espèces ligneuses, 33 espèces appartenant à 31 genres relevant de 18 familles botaniques ont été recensées et ces dernières sont plus présentes dans les plateaux. En ce qui concerne le sol, il est de type sablo-limoneux, et il n'y a eu aucune différence significative de l'effet des amendements sur les caractéristiques chimiques du sol quels que soient la profondeur, la zone de prélèvement et le site ($p > 0,05$). Le rendement moyen en riz, en graine et la biomasse sèche sont plus élevés au niveau des parcelles amendées au biochar et au compost à Selecky et à Essyl ($p < 0,05$). A Essyl, le rendement moyen en riz le plus élevé a été obtenu au niveau des parcelles amendées au biochar et compost pour la 1^{ère} année dans la zone non salée. Les rendements en riz de la 1^{ère} année sont significativement supérieurs ($p < 0,05$) à ceux de la 2^{ème} année d'expérimentation. Il ressort de cette étude que les amendements organiques ont permis d'augmenter le rendement en riz dans les parcelles salées et non-salées. Par contre l'effet de ces amendements est neutre sur les herbacées, les propriétés physico-chimiques du sol et sur le développement du riz en zone non salée.

Mots clés : *Oryza sativa*, Diversité floristique, amendements organiques, Mycorhize, Basse Casamance

Abstract

In Casamance, rice cultivation is an important and cultural activity for local populations, which has experienced a decline in yields exacerbated by climate change but also by a decline in soil fertility. Consequently, several strategies are being developed to improve rice production, and studies are being undertaken to better understand the impact of these strategies. It is within this framework that this work contributes to a better understanding of the effect of salinity and organic amendments on floristic diversity, on the physical and chemical properties of the soil, and on rice yields in the Lower Casamance. Specifically, the project aimed to: (i) determine the effect of organic amendments on herbaceous species diversity, (ii) assess the effect of organic amendments on the physical and chemical properties of the soil; (iii) test the effect of organic amendments on rice development and yield, (iv) assess the effect of the glomus and organic amendments association on rice yield in the presence of salt, and finally (v) study the composition and structure of woody species according to soil occupation types. Four main types of activities were carried out: (i) a household survey on farmers' perceptions of coping strategies in the face of salinization of rice lands; (ii) an inventory of herbaceous and woody species; (iii) soil sampling at different depths and soil analysis; and (iiii) installation of an experimental set-up in a semi-controlled environment and in the field to assess certain parameters related to the growth, physiology and development of rice. For the first activity, the use of organic amendments and the installation of anti-salt dams were the most common strategies adopted by 69.5% and 67.6% of respondents, respectively. There were a total of 24 herbaceous species divided into 22 genera and 11 families. The dominant families are represented by the Poaceae (25%) and Cyperaceae (25%). As for woody species, 33 species belonging to 31 genera from 18 botanical families were recorded and these are more present in the upland. Soil type was sandy-loam, and there was no significant difference in the effect of amendments on soil chemical characteristics across depth, sampling area and site ($p > 0.05$). Average rice yield, seed yield and dry biomass were higher in the biochar- and compost-amended plots at Selecky and Essyl ($p < 0.05$). In Essyl, the highest average rice yield was obtained in plots amended with biochar and compost for the 1st year in the non-saline zone. Rice yields in the 1st year were significantly higher ($p < 0.05$) than in the 2nd year of experimentation. This study shows that organic amendments increased rice yields in both saline and non-saline plots. However, the effect of these amendments was neutral on herbaceous plants, soil physico-chemical properties and rice development in non-saline areas.

Keywords: *Oryza sativa*, Floristic diversity, Organic amendments, Mycorrhize, Basse Casamance

INTRODUCTION GENERALE

Le riz est l'une des céréales la plus consommée en Afrique subsaharienne et constitue la deuxième céréale la plus cultivée au monde (FAOSTAT, 2014). Au Sénégal, il est l'un des aliments de base de la population avec une consommation moyenne évaluée à près de 90 kg/habitant/an (Fall, 2016). Sa production estimée en moyenne à 885 000 tonnes en 2016 (FAOSTAT, 2017) est assurée, principalement par deux systèmes de production : sous périmètre irrigué qui assure l'essentiel de la production (60%) et sous régime pluvial qui est largement pratiqué au Centre, Sud et Sud-Est du pays (APRAO, 2010 ; ANSD, 2013; Fall, 2015). La production de riziculture sous régime pluvial s'effectue sur les plateaux ou dans les bas-fonds. La riziculture de bas-fond qui occupe entre 23 et 25 % des superficies emblavées (Fall, 2015) est, depuis plusieurs années, confrontée aux problèmes de salinisation des terres. Les conséquences de cette salinisation sont entre autres la dégradation des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols entraînant une baisse de la fertilité des sols, des rendements et du couvert végétal (Barnawal *et al.*, 2014). Les terres salées au Sénégal sont estimées à 1 700 000 ha (LADA, 2009) et les parties les plus touchées sont le bassin arachidier, la vallée du fleuve Sénégal et les bas-fonds de la Casamance (Ndour, 2006). En Casamance, les bas-fonds sont confrontés aux problèmes de la salinité et à la faible teneur en matière organique causant ainsi leur abandon par les producteurs (APRAO, 2011). Cependant plusieurs techniques sont déployées pour réduire l'impact du sel dans ces bas-fonds. Ces techniques portent principalement sur plusieurs approches : mécanique (confection de diguettes et digues anti-sel), agroécologique par amendement de matières organiques (épandage de coque d'arachide, de fumier, d'ordures ménagères...), chimique (apport de phosphogypse...) et biologique par le reboisement avec des espèces forestières adaptées à la salinité. Les apports de matières organiques dans le sol augmentent la capacité de rétention hydrique, la capacité d'échange cationique et apportent des éléments nutritifs aux plantes (APRAO, 2011). En effet, la matière organique est reconnue être le facteur principal des agrosystèmes. Elle crée un environnement favorable à la production végétale à travers son impact sur les paramètres physiques (maintien de la structure du sol), chimiques (formation du complexe argilo-humique, constitution de réserves d'éléments nutritifs disponibles pour les plantes) et biologiques (constitution de réserves d'éléments énergétiques minéralisables pour la faune du sol et la microflore) du sol (Traoré, 2012). Plusieurs travaux ont montré que les amendements organiques améliorent les rendements des cultures dans les sols affectés par sel. Les résultats obtenus par le PROGERT,

(2008) ont montré que l'utilisation de la coque d'arachide a permis d'augmenter les rendements du mil et du maïs cultivés sur sol salé. Cependant d'autres approches, comme l'inoculation des plantes avec des champignons mycorhiziens dans les zones salées, ont amélioré également le rendement du riz (Djatta et *al.*, 2013). Diouf et *al.*, (2010) ont montré que la mycorhization améliore croissance des plants et leur résilience en conditions de stress salin. Ces champignons permettraient une assimilation plus efficace de l'eau et des éléments nutritifs, particulièrement le phosphore, mais aussi diminueraient les effets néfastes d'agents pathogènes affectant les racines, tout en favorisant une meilleure absorption de l'eau. Mayak et *al.*, (2004) ont montré que les effets bénéfiques des champignons sur les plantes atténuent l'effet du stress salin. Une gestion intégrée associant les amendements organiques aux variétés de riz inoculés avec du champignon dans les zones affectées par la salinité pourrait se révéler très bénéfique pour améliorer la production de riz. **L'objectif général de cette thèse est de contribuer à l'évaluation de l'effet combiné des amendements organiques et de l'inoculation mycorhizienne sur la diversité floristique, sur la fertilité du sol et sur la production de riz en milieu salin.** Il s'articule autour de quatre objectifs spécifiques :

- ❖ recueillir la perception des producteurs sur l'impact de la salinité sur la production rizicole dans les vallées de la commune d'Enampore ;
- ❖ déterminer la composition floristique, la diversité et la structure des espèces forestières suivant les types d'occupation du sol dans la commune d'Enampore ;
- ❖ caractériser l'effet combiné de l'inoculation et des amendements organiques (biochar et compost) sur la croissance et rendement du riz en milieu salin. Ces travaux se sont déroulés en milieu semi contrôlé et dans les champs des producteurs ;
- ❖ déterminer l'effet des amendements organiques sur les caractéristiques chimiques du sol, sur la dynamique et la composition des espèces herbacées en milieu salin dans les champs des producteurs

Nos argumentaires se fondent sur les hypothèses selon lesquelles : les producteurs ont une connaissance avérée du milieu de production rizicole de la zone d'étude, de la variation de la diversité des espèces végétales selon les types d'occupation du sol.

Ainsi l'apport combiné de matières organiques et de champignons mycorhiziens pourrait modifier la dynamique et la composition des espèces herbacées et améliorer ainsi la croissance et la production du riz en milieu salin.

Ce présent travail est structuré en six chapitres dont quatre sont présentés sous la forme d'articles publiés, soumis ou en préparation :

- le chapitre 1 est une synthèse bibliographique sur la salinité, sur l'espèce étudiée, sur les types d'amendements utilisés, sur les champignons mycorhiziens utilisés et leur importance sur la riziculture ;
- le chapitre 2 présente la perception et les stratégies d'adaptation des producteurs face à la salinisation des vallées rizicoles de la commune d'Enampore en Basse Casamance ;
- le chapitre 3 montre la variation de la diversité floristique et de la structure des espèces suivant les types d'occupation du sol dans la commune d'Enampore ;
- le chapitre 4 étudie les effets de l'inoculation et des amendements organiques (biochar et compost) sur la croissance et rendement du riz en milieu salin ;
- le chapitre 5 traite de l'effet des amendements organiques (biochar et compost) sur les caractéristiques chimiques du sol, la croissance et le rendement du riz, la dynamique et la composition des espèces herbacées en milieu salin dans la commune d'Enampore en Basse Casamance (Sénégal) ;
- et le dernier chapitre 6 est consacré à la discussion et la conclusion générale

CHAPITRE 1 : CADRE CONCEPTUEL DE L'ETUDE

1.1 Généralité sur le riz

1.1.1 Taxonomie du riz

Le riz est une céréale monocotylédone de l'ordre des Cyperales auquel appartiennent de nombreuses autres céréales (Kambou, 2008). C'est une graminée du genre *Oryza* de la famille des Poacées. Le genre *Oryza* comporte 23 espèces, dont deux sont domestiquées : *Oryza sativa* L., originaire d'Asie et *Oryza glaberrima* Steud., originaire d'Afrique (Radanielina, 2010). L'espèce africaine se distingue facilement du riz asiatique par une ligule courte et tronquée et par une panicule dressée. *O. sativa* L a par contre une ligule longue et bifide avec une panicule légèrement retombante à maturité (Moussa, 1991).

Oryza sativa L est une espèce à grande productivité et comporte de nombreux écotypes qui sont généralement regroupés en deux sous-espèces : *indica*, et *japonica* selon des critères morphologiques tels que le tallage, la longueur et la finesse des grains (Lacharme, 2001) :

- ✓ la sous-espèce *indica* est originaire d'Asie tropicale et se caractérise par un fort tallage, des grains longs et fins. Elle est la mieux adaptée à la riziculture aquatique.
- ✓ la sous-espèce *japonica* est originaire de la zone tempérée et subtropicale d'Asie. Son tallage est moyen, ses grains sont courts et ronds. Cette sous-espèce est adaptée à la riziculture pluviale.

L'espèce *Oryza glaberrima*, d'origine africaine, comporte deux agroécotypes : un type précoce et insensible à la photopériode qui est adapté à la culture pluviale et à la culture en zone de bas-fond modérément inondée, et un type flottant, photosensible, cultivé dans les plaines inondables (ADRAO, 1998).

1.1.2 Morphologie du riz

Un plant de riz comprend un système racinaire, une tige, des feuilles et des inflorescences (Figure 1, ADRAO, 1995).

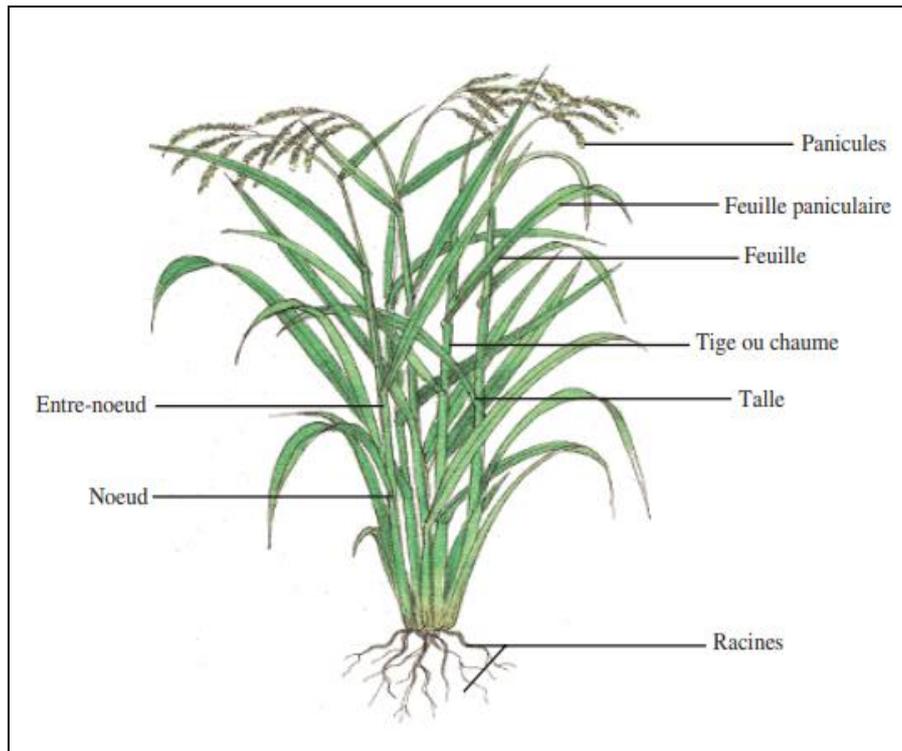


Figure 1 : Représentation schématique d'un plant de riz

1.1.3 Organes végétatifs

Les principaux éléments des organes végétatifs d'un plant de riz sont : les feuilles, la tige, les talles et les racines.

La feuille de riz est essentiellement constituée de deux parties : la gaine foliaire enveloppant la tige et le limbe. Les feuilles sont alternées ; la dernière feuille est appelée feuille drapeau ou feuille paniculaire. Son limbe est plus court et plus large que celui des autres feuilles (Bambara, 2017).

La tige ou chaume est faite de nœuds limitant les entre-nœuds cylindriques. Les entre-nœuds sont courts à la base de la tige, mais s'allongent au fur et à mesure que le pied de riz grandit. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille engainante (Dobelman, 1976 ; Lacharme, 2001)

Le système racinaire du riz est constitué de deux types de racines au cours de son développement : les racines séminales qui sortent de la radicule et qui ont une vie éphémère et les racines secondaires ou adventives qui apparaissent à partir de nœuds souterrains de la jeune tige, puis sur les nœuds supérieurs. Ces racines adventives assurent l'alimentation de la plante en eau et en éléments nutritifs. Le développement du système racinaire dépend surtout du type de sol (Raemaekers, 2001).

1.1.4 Organes reproductifs

L'inflorescence du riz est une panicule constituée d'un axe portant des ramifications primaires ou racèmes formant des grappes. Les racèmes comportent des ramifications dites secondaires ou axiles qui portent de petits épis d'un ou de plusieurs épillets. La fleur de l'épillet comporte un pistil et six étamines portant chacune une anthère. Le fruit est un caryopse. Le grain de riz est enveloppé par deux glumelles intimement serrées l'une à l'autre après la pollinisation et dont la réunion forme l'apex (Armél et *al.*, 2008).

1.1.5 Cycle végétatif du riz

Le développement du riz peut être subdivisé en trois phases : la phase végétative, la phase reproductive et la phase de maturation (Figure 2).

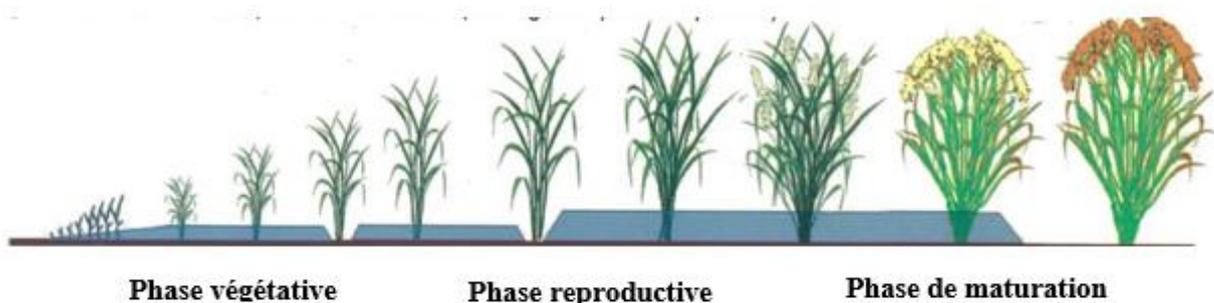


Figure 2: Représentation schématique des trois principales phases de développement du riz (APRAO, 2012)

1.1.5.1 Phase végétative

La phase végétative comprend la germination, la levée et le tallage. Elle s'étend du semis jusqu'à la phase de différenciation paniculaire ou initiation paniculaire (Figure 2).

La phase de germination dure 5 à 20 jours selon la température : 5 jours en condition chaude (30°C) et 20 jours en condition de basse température (20°C) (Lacharme, 2001).

La levée démarre avec l'émergence de la première feuille jusqu'au stade 4 feuilles et dure 15 à 25 jours selon la température ; les basses températures rallongent la durée de la levée. Pendant cette phase, le plant acquiert progressivement son indépendance vis-à-vis des réserves alimentaires du grain. Le plant est totalement indépendant au stade 3 feuilles. Pour les semis en pépinière, il est nécessaire d'attendre ce stade avant de faire le repiquage.

Le tallage commence à partir du stade 5 feuilles. Il a une durée variable qui dépend de la température et de la variété. C'est la longueur de cette phase qui différencie les variétés de cycle court, moyen et long. En règle générale, une variété de cycle long aura une aptitude à produire

plus de tallage qu'une variété de cycle court. La phase du tallage prend fin avec l'initiation paniculaire (Lacharme, 2001).

1.1.5.2 Phase reproductive

Elle est caractérisée par une formation des organes reproducteurs qui dure 30 à 35 jours selon les variétés. Elle est marquée par la différenciation des organes floraux (glumelles, étamines et stigmates). Il s'agit d'une phase très sensible aux conditions défavorables : températures basses, salinité, manque d'eau... Cette phase comprend différents stades : stade de l'initiation paniculaire, stade de la montaison et le stade d'épiaison-floraison (APRAO, 2012).

1.1.5.3 Phase de maturation du grain

La phase de maturation commence par le stade fécondation, puis se poursuit par la formation des grains (Figure 2). La maturation se caractérise par la formation de substances de réserve et par la migration de ces substances dans l'albumen du grain. Le grain de riz formé passe par différents stades à savoir : stades laiteux, pâteux et le stade grain dur. La phase de maturation dure 25 à 40 jours (Raemaekers, 2001).

1.1.6 Ecologie du riz

La température de croissance optimale de la variété africaine du riz *O. glaberrima* se situe entre 30°C et 35°C. Au-dessus de 35°C, la fertilité des épillets diminue considérablement. Les températures inférieures à 25°C réduisent la croissance et le rendement. *O. glaberrima* est généralement une plante de jours courts, mais sa photosensibilité varie selon les écotypes (Bezançon et Diallo, 2006). *O. glaberrima* est cultivé sur une large gamme de sol, mais croit mieux sur les sols lourds dans lesquels les pertes de nutriments par percolation sont faibles (Kambou, 2008). Ce riz présente également une bonne tolérance à l'acidité avec un pH optimal compris entre 5,5 à 6 (Lacharme, 2001). La disponibilité en eau est une condition obligatoire pour toute riziculture mais l'espèce africaine (*O. glaberrima*) présente une prédisposition naturelle à résister à la sécheresse. Contrairement à *O. glaberrima*, *O. sativa* est vulnérable à la sécheresse. Elle peut être cultivée sur un sol non-inondé ou inondé avec des précipitations d'au moins 750 mm sur une période de 3 à 4 mois. La température moyenne pendant la phase de croissance de *O. sativa* varie de 20 à 38°C. Des températures nocturnes inférieures à 15°C peuvent entraîner une stérilité de l'épillet. Des températures supérieures à 21°C lors de la floraison sont nécessaires à la pollinisation.

1.2 Généralité sur la salinité

1.2.1 Définition de la salinité et de la salinisation

La salinité du sol peut être définie comme étant la quantité globale de sels contenus dans la solution du sol (Imalet, 1979). Elle constitue l'un des facteurs abiotiques limitants les plus répandus au niveau de la planète influençant fortement les rendements agricoles, notamment dans les régions arides et semi-arides où les précipitations ne sont pas suffisantes (Schulze et al., 2005 ; Khales et Baaziz, 2006). L'augmentation de concentrations de sels comme le chlorure de sodium dans le sol aboutit à la salinisation du sol (Sun et al., 2008). Le sel s'accumule à la surface du sol et plus particulièrement dans la zone racinaire et se solde par des effets nocifs sur les végétaux et le sol (Mermoud, 2006). Il existe deux types de salinisation : la salinisation primaire et la salinisation secondaire.

1.2.2 Salinisation primaire

La salinisation primaire résulte de l'accumulation des sels dans le sol à travers un long processus naturel de dégradation des roches salines et des apports éoliens des sels de mers et des océans (Teggar Naima, 2015). Plus de 75 % des terres salinisées ont une origine naturelle (Mermoud, 2006) .

1.2.3 Salinisation secondaire

Elle est induite par l'activité humaine et est fréquemment liée à des pratiques agricoles inappropriées (Mermoud, 2006). La salinisation est due principalement à l'irrigation des terres avec une eau de mauvaise qualité (eau saline), un lessivage insuffisant et un drainage défaillant (Lahouel, 2014). Près de 20% des terres salinisées ont une origine anthropique.

1.2.4 Classification des sols en fonction de la salinité

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

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

Classes	Conductivité de l'extrait de sol saturé (dS.m ⁻¹)
Non-salin	0-2
Légèrement salin	2-4
Modérément salin	4-8
Fortement salin	8-16
Très fortement salin	>16

1.2.5 Impact de la salinité sur les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols

Les propriétés du sol sont négativement influencées par la présence du sel. Ces derniers ont des effets négatifs sur la structure du sol, sur la chimie et sur l'activité biologique du sol. L'augmentation de la quantité de sodium dans un sol entraîne la destruction de sa structure. Des études ont montré que la présence importante de sel dans le sol favorise la dispersion des colloïdes minéraux et par conséquent la réduction de la structure poreuse du sol (Saidi *et al.*, 2004).

1.2.6 Impact de la salinité sur la croissance végétative et le rendement des espèces

La salinité est l'un des facteurs limitant de la croissance des plantes. Ses effets sur les végétaux se traduisent par : un arrêt de la croissance, une nécrose marginale des tissus suivie par une perte de turgescence, une chute des feuilles et finalement la mort de la plante (Zid, 1982). La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement, la croissance et le rendement de la majorité des espèces végétales en inhibant le développement des racines latérales, des jeunes feuilles et en favorisant la sénescence des vieilles racines (Munns et Tester, 2008). La salinité affecte toutes les propriétés physiologiques de la plante (Insaf, 2019). Elle réduit la vitesse de la photosynthèse suite à une diminution de la conduction stomatique de CO₂ (Santiago *et al.*, 2000). Levitt, (1980) a montré une diminution du diamètre des tiges et des fruits avec l'augmentation de la salinité pour la tomate et le coton. Rahmoune *et al.*, (2001) ont montré que la croissance des feuilles, des tiges et des racines baisse significativement quand la salinité dépasse 4g.l⁻¹ chez certaines variétés de blé. Un retard de la floraison a été noté chez les cultivars de riz et de la pomme de terre due à la salinité (Baba- sidi - Kassi, 2010). Le stress salin provoque aussi la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, des tiges et des racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000). D'après Wang et Nil, (2000) une des réponses immédiates des végétaux au stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire. Lorsque l'orge est soumise à un stress salin au cours de l'épiaison ou la différenciation de l'épi, le nombre d'épillets par épi est réduit ainsi que le nombre des grains. Ces mêmes auteurs ont montré que la salinité a un effet néfaste sur la remobilisation des réserves au cours de la phase de remplissage des grains. La salinité diminue le rendement le plus souvent en réduisant le nombre de pointes portant les épillets, le poids de l'épi et le poids de 1000 graines (Munns et Rawson, 1999).

1.2.7 Mécanismes d'adaptation des plantes au stress salin

L'adaptation des plants au stress salin nécessite souvent l'adoption de certaines stratégies. Ces différentes stratégies d'adaptation leur permettent de maintenir leur croissance et d'améliorer

leur rendement dans les environnements salés. Ainsi trois stratégies de tolérance au sel sont développées par les plants : l'ajustement osmotique, l'exclusion et l'inclusion.

1.2.7.1 L'ajustement osmotique

L'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance des plantes à la contrainte saline (Munns, 2002). Cette stratégie d'adaptation consiste à synthétiser des composés aminés et des sucres, et à les accumuler dans le cytoplasme et les organites (Hanana *et al.*, 2011). Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs qui peuvent être des ions tels que les K^+ , Na^+ et Cl^- ou des composés organiques tels les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructane) et certains aminoacides (proline, glycine bêtaïne, β -alaninebêtaïne, prolinebêtaïne) conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence (Chamekh, 2010). Le rôle principal de ces composés consiste à maintenir un faible potentiel hydrique à l'intérieur des cellules afin de générer une force de succion pour l'absorption de l'eau. Il permet aussi le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal (Majumder *et al.*, 2010).

1.2.7.2 L'inclusion ou compartimentation

Les plantes développant le mécanisme d'inclusion utilisent le sel pour ajuster la pression osmotique des cellules. Elles absorbent le sel mais le stockent en dehors du cytoplasme, par exemple dans la vacuole. A l'intérieur des cellules, le sel est stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Il entraîne un transport élevé de l'ion sodium vers les parties aériennes et son accumulation préférentielle dans les feuilles plus âgées (Munns & Tester, 2008). Lorsque l'accumulation des ions dépasse la capacité de leur redistribution entre les différents tissus et organes et/ou dépasse la capacité de compartimentation vacuolaire, les ions se concentrent jusqu'à un niveau toxique dans le cytosol. Le Na^+ , par compétition, réduit l'absorption des ions K^+ dans la cellule, pénètre au niveau du cytosol à travers des transporteurs High affinity K^+ Transporter (HKT1) et des canaux non sélectifs de cations puis déclenche la réponse au stress suite à une augmentation de la concentration d'ions Ca^{2+} (Yokoi *et al.*, 2002). Le Ca^{2+} va alors activer les cascades de phosphorylation des MAPkinases (MAPK), aboutissant à l'activation de facteurs de transcription qui agissent spécifiquement sur les promoteurs pour initier la réponse (notamment par la transcription des gènes Salt Overly Sensitive (SOS) et des gènes de biosynthèse des osmolytes) (Yokoi *et al.*, 2002). La voie SOS activée va induire l'activation de la protéine SOS1, un antiport Na^+/H^+ de la membrane plasmique, et l'activation de l'antiport Na^+/H^+ échangeur (NHX1) de la vacuole (Zhu, 2002). Ainsi les ions Na^+ et Cl^-

sont soit évacués hors du cytoplasme vers les tissus conducteurs par l'intermédiaire de l'antiport Na^+/H^+ (SOS1) et de canaux Cl^- , soit stockés dans la vacuole par l'intermédiaire de l'antiport NHX1, de canaux Cl^- (CLC) et d'antiports Cl^-/H^+ (Zhu, 2002) en coordination avec des pompes à protons ATP ou PPI dépendantes. L'augmentation concomitante de la concentration de sodium dans la vacuole va engendrer une forte pression osmotique qui va favoriser l'absorption d'eau et donc améliorer la turgescence des cellules (Hanana et al., 2011).

1.2.7.3 L'exclusion

Cette stratégie est considérée comme la plus importante fonction d'adaptation des plantes au stress salin (Munns et Tester, 2008). Elle consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. En effet la plante exclut, à travers ses racines, 98 % du contenu en sel dans la solution du sol. Les 2 % restants sont ensuite transportés au niveau des feuilles à travers le xylème (Munns, 2005). Les barrières morphologiques importantes pour la sélection des ions sont l'épiderme, le cadre de caspari et le parenchyme du xylème (Tester et Davenport, 2003). Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne des cellules de la racine. Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence des ramifications de la racine. Ce mécanisme permet à la plante de ne pas accumuler à des concentrations pouvant être toxiques les ions tels que Na^+ et Cl^- . Il est aussi indiqué que la capacité d'exclusion de Na^+ et / ou de Cl^- des tiges est bien corrélée au degré de tolérance au sel (Aimouch et al., 2017). Il existe une forte corrélation entre l'exclusion des sels et la tolérance au stress salin de plusieurs espèces (Munns et al., 2006).

1.3 Généralité sur les amendements organiques

1.3.1 Le biochar

1.3.1.1 Définition et historique

Le biochar, aussi appelé biocharbon, est du charbon produit par pyrolyse incomplète de la biomasse végétale lignifiée. Le biochar qui est de la matière organique possède des propriétés physico-chimiques importantes dans la fertilisation des sols d'où son utilisation agronomique dans l'amendement des sols (Lebongo, 2011). Il est obtenu par la décomposition thermique de matériaux riches en carbone tels que le bois dur, les divers résidus agricoles et forestiers (Yao et al., 2012). L'origine du biochar proviendrait des pratiques agricoles des habitants d'Amazonie qui incorporaient de grandes quantités de charbon au sol ainsi que des fumiers et autres engrais biologiques pour améliorer les rendements de leurs cultures il y'a 500 années (Sohi, 2012). Aujourd'hui, les sols noirs d'Amazonie ou Terra Prêta sont d'excellents sols d'agriculture à cause de leur forte teneur en éléments nutritifs (C, N, P, K et Ca), leur bonne capacité d'échange

cationique (CEC) qui leur permet de retenir et de recycler les éléments nutritifs sur de longues périodes de culture (Laird et *al.*, 2010). L'équivalent actuel du charbon utilisé dans les sols noirs d'Amazonie serait du biochar produit par le procédé de pyrolyse décomposant la biomasse première sous de hautes températures et sous de faibles concentrations en oxygène (Leinweber et Schulten, 1999).

1.3.1.2 Effets du biochar sur les propriétés physiques du sol

L'incorporation de biochar dans le sol influence sur la structure, la texture, la porosité et la densité du sol. La présence de biochar modifie ainsi la teneur en eau, en oxygène ainsi que la capacité de rétention en eau et en nutriments des sols (Atkinson et *al.*, 2010). Selon plusieurs études, le biochar améliorerait la fertilité des sols et donc des rendements des cultures (Foo et *al.*, 2013). Cet effet « fertilisant » s'expliquerait d'une part par une stimulation de la vie microbienne avec pour conséquence une augmentation de la disponibilité en éléments nutritifs pour les plantes, et d'autre part par la taille des surfaces d'échanges spécifiques du biochar qui augmenterait la rétention hydrique et la capacité d'échanges cationiques (Steinbeiss et *al.*, 2009). Les effets imputés au biochar sur le sol dépendent du type de sol, du climat, du couvert végétal et de l'itinéraire technique. Selon Bonaventure, (2016), le biochar pourrait aussi affecter la capacité du sol à retenir les cations et sa réaction aux changements de températures ambiantes. En plus, de manière indirecte, beaucoup d'aspects chimiques et biologiques de la fertilité du sol peuvent être déduits des propriétés physiques du biochar telles que la présentation physique des sites pour des réactions chimiques ainsi que la fourniture des habitats protecteurs pour les micro-organismes du sol. Il est important de noter que deux aspects affectent spécialement la qualité des « biochars » à savoir, les matières premières utilisées pour leur production et les conditions dans lesquelles ils sont fabriqués. Le biochar présente une structure poreuse qui influence la circulation de l'air et de l'eau dans la rhizosphère; il peut avoir un effet direct sur la croissance des plantes (Lévesque, 2017). En effet, mélangé au sol, le biochar influence les caractéristiques physiques du sol comme la réponse du sol à l'eau, son agrégation, sa dynamique de gonflement et de rétraction, sa densité et sa perméabilité (Lehmann et *al.*, 2011).

1.3.1.3 Effets du biochar sur les microorganismes du sol

Il a été montré que l'effet de la quantité de biochar utilisée influençait les microorganismes du sol selon leur nature (Gravel et *al.*, 2013). L'ajout de biochar mène à une modification des propriétés des sols (Jaiswal et *al.*, 2014) et présente des effets positifs sur l'abondance, la diversité et l'activité des communautés microbiennes (Singh et *al.*, 2015). Selon Kim et *al.*,

(2007), une augmentation de 25 % de la diversité microbienne a été enregistrée dans la Terra Prêta, sol noir de l'Amazonie enrichi en charbon. Les effets bénéfiques du biochar sur les microorganismes du sol peuvent s'expliquer par plusieurs mécanismes. Le biochar représente une source de nutriment qui joue un rôle important dans la stimulation de la microflore du sol (Smith et *al.*, 2010). Il augmente la diversité microbienne et agit sur la structure microbienne (Bailey et *al.*, 2011). La structure poreuse du biochar associée à sa grande capacité de rétention d'eau permet l'établissement d'un environnement propice à la multiplication des microorganismes du sol ; le biochar les protège contre les prédateurs et les conditions de stress (Lehmann et *al.*, 2011).

1.3.1.4 Effet du biochar sur le rendement des cultures

Le biochar a un effet positif sur la croissance et le rendement des plantes. Il a été noté une augmentation de la biomasse aérienne et racinaire pour des cultures amendées au biochar (Tian et *al.*, 2010). Cet effet positif a aussi été montré sur le rendement de cultures avec une augmentation du nombre et de la masse des fruits (Graber et *al.*, 2010). Harel et *al.*, (2012) ont montré un effet bénéfique de l'amendement au biochar sur la croissance de la tomate et du poivron dans un sol sableux.

1.3.2 Compost d'anacarde

1.3.2.1 Définition et origine du compost

Le compost est un mélange de débris organiques en décomposition et de matières minérales, destiné à nourrir et à alléger le sol qu'il enrichit en humus (Couplen et Marmy, 2009). Un compost est issu de la décomposition de matériaux organiques (fumier, ordures ménagères, feuilles mortes, fruits, rameaux et autres organes de plantes, déchets, etc.) (Dagbenonbakin et *al.*, 2013).

1.3.2.2 Effets du compost sur le sol

L'incorporation du compost dans le sol a un impact sur plusieurs propriétés du sol : chimique, physique, microbiologique et morphologique. Le compost améliore la stabilité structurale du sol. Ouattara et *al.*, (1994) ont montré que la porosité structurale induite croît avec l'évolution du substrat organique. Donc plus le compost est mûr, plus la porosité structurale induite est grande. Concernant les propriétés chimiques, le compost assure une meilleure régulation du stockage et de la fourniture des éléments nutritifs. Des tests réalisés sur du compost urbain ont permis de conclure que le compost stimule l'activité minéralisatrice du sol (Morel et *al.*, 1979). Cependant l'importance de cette minéralisation dépend étroitement de l'âge et du type de compost. Le compost apporté en surface permettrait de corriger aussi l'acidité du sol (Mélissa

Brigitte, 2014). Il joue de ce fait un rôle tampon contre l'acidification du sol et permet une meilleure utilisation et une plus grande efficacité des engrais minéraux (Traoré, 2012). Au plan biologique, le compost permet une stimulation de la microfaune et de la microflore du sol (Koulibaly, 2012) ; la matière organique étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol (Christen, 2008 ; Giva, 2011).

1.3.2.3 Effets des amendements organiques dans l'amélioration de la fertilité des sols salés et des rendements des cultures

Pour restaurer les sols salés, il est important d'utiliser certaines matières organiques afin d'éliminer certains ions toxiques et augmenter ainsi les rendements. La matière organique joue un rôle important dans l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols affectés par le sel. En effet, le Ca^{2+} contenu dans la matière organique pourrait diminuer la proportion de Na^+ dans le complexe d'échange cationique et renforcer la lixiviation du Na^+ échangeable (Qadir et Oster, 2004). Des études ont montré que les sols salés ont des teneurs généralement très faibles en éléments nutritifs donc pas fertiles (Kwey et *al.*, 2015; Diop et *al.*, 2019). Ainsi l'application de fumier de volaille et du compost augmente à la fois la CEC et le potassium (K^+) soluble et échangeable qui est un concurrent du Na^+ dans les sols sodiques, limitant ainsi l'entrée de ce dernier dans le complexe échangeable (Walker et Bernal, 2008). Wang et *al.*, (2014) ont montré qu'un mélange de compost de déchets verts, de tourbe de carex et de résidus furfural réduit de manière significative les teneurs en Na^+ et augmente la CEC et la disponibilité des éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore et le potassium (Wang et *al.*, 2014). Par ailleurs, une autre étude a montré que les propriétés physiques du sol, tels que le taux d'infiltration de l'eau, la capacité de rétention, ont été considérablement améliorées par l'application des déchets ménagers (Lax et *al.*, 1994). Des résultats obtenus par le PROGERT (2006, 2007, 2008) ont montré que l'utilisation de la coque d'arachide permet d'augmenter les rendements du mil et du maïs cultivé sur sol salé. En 2008, une production moyenne de $600 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a été obtenue dans la parcelle de maïs amendée avec des coques d'arachide contre $270 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ dans la parcelle témoin soit une augmentation de 122% en 3 ans. Les études de Diatta et *al.*, (2019) ont montré que les amendements organiques (biochar et le compost d'anacarde) dans les sols salés ont permis d'augmenter le rendement du riz. Des études effectuées par Wang et *al.*, (2014) ont montré également qu'un mélange de déchets organiques a entraîné une diminution respective de 11%, 87% et 71% de la densité apparente, de la conductivité électrique et du pourcentage de sodium échangeable et a augmenté respectivement de 25% et 96% la porosité totale et le carbone organique par rapport au témoin.

1.3.2.4 Effet du compost sur les rendements des cultures

Le compost constitue une source importante d'éléments minéraux, il est aussi riche en macroéléments qu'en oligoéléments (Koull et Halilat, 2016). Ces éléments sont utilisés par les plantes pour satisfaire leur besoin au cours de leur cycle de développement (Morez, 1987 ; Waas et *al.*, 1996 ; Moughli, 2000). L'utilisation du compost sur les cultures est très importante à cause de son apport en éléments minéraux mais aussi de son effet indirect sur la santé des plantes (Fuchs, 2010). Les travaux de Ouattara et *al.*, (2006) ont montré que l'utilisation de compost permettait d'accroître les rendements en grain du coton. Des tests réalisés sur quelques espèces maraichères avec un apport de compost de 2,5 kg.m⁻² soit 25 t. ha⁻¹ par Sérémé (1995) révèlent un pourcentage moyen de levée de 95,5% pour toutes les espèces cultivées. Selon ce même auteur, le compost permet de doubler les rendements de la carotte (de 8 t. ha⁻¹ à 17 t. ha⁻¹), du chou (de 10 à 20 t. ha⁻¹) et de la tomate (de 8 t. ha⁻¹ à 15 t. ha⁻¹). L'apport de 2,8 kg.m² (28 t. ha⁻¹) de compost d'ordures ménagères à 40% d'humidité a permis de doubler la production de laitue (Ngnikam et *al.*, 1993). Concernant la santé des plantes, le compost peut créer des conditions défavorables au développement des parasites surtout telluriques, avec notamment la réduction du peuplement de parasites comme les nématodes des plantes dans le sol et de ce fait accroître le rendement (Ndiaye, 1997). La plantation de plants en mottes de compost a permis d'obtenir un gain de rendement de tomate de plus de 30%, un pourcentage de reprise très élevé des plants repiqués et une physiologie des plantes plus vigoureuse avec une floraison précoce et plus abondante (Ndiaye, 1997).

1.4 Généralité sur les champignons mycorhiziens

1.4.1 Définition

Les mycorhizes (du grec myco = champignon et rhiza = racine) sont des « unions durables » résultant de l'association entre les racines des végétaux et certains champignons du sol. Cette association ou symbiose repose sur des échanges réciproques bénéfiques aux deux partenaires (Ndonga, 2018). En effet la plante fournit au champignon des composés carbonés, produits de la photosynthèse et, en retour, le champignon approvisionne la plante en éléments minéraux et en eau provenant du substrat (Tanguay, 2014).

1.4.2 Types de mycorhization

Selon Harley et Harley, (1987), il y'aurait trois grands types de mycorhizes, basés principalement sur leur morphologie et le type de plante hôte associé : les endomycorhizes, les ectomycorhizes et les ectendomycorhizes.

1.4.2.1 Les endomycorhizes

Les endomycorhizes encore appelées mycorhizes vésiculo-arbusculaires constituent une association où le champignon mycorhizien arbusculaire (CMA) pénètre à l'intérieur des cellules racinaires. Les champignons mycorhiziens arbusculaires sont peu spécifiques et forment le type de mycorhizes le plus répandu. En effet, 80 à 90 % des plantes sont concernées à l'exception de certaines familles comme les Chénopodiacées, les Cruciféracées et les Joncacées (Strullu, 1991). L'association plante-champignon aboutit à la formation de vésicules et d'arbuscules à l'intérieur des cellules de la racine et à la formation d'hyphes ramifiés portant généralement de nombreuses spores dans le sol à la proximité des racines (Fortin et *al.*, 2008).

1.4.2.2 Les ectomycorhizes

Les ectomycorhizes sont issues d'associations où le champignon reste à l'extérieur des cellules du cortex racinaire et les hyphes en s'accolant les uns aux autres forment un manchon fongique autour des radicelles. Les hyphes pénètrent dans la racine à travers les espaces intercellulaires, formant un système complexe appelé le réseau de Hartig. C'est au niveau de ce réseau que se font les échanges d'éléments nutritifs entre le champignon et la plante (Fortin et *al.*, 2008). Les champignons ectomycorhiziens sont associés essentiellement à des espèces ligneuses en particulier, des essences forestières des régions tempérées, de la forêt boréale, mais également à des essences tropicales de la famille des *Dipterocarpaceae*, *Euphorbiaceae*, *Cesalpiniaceae*, *Myrtaceae* et *Fagaceae* (Hamza, 2014).

1.4.2.3 Les ectendomycorhizes

Ce sont des formes intermédiaires qui possèdent à la fois les caractéristiques des ectomycorhizes, et les caractéristiques des endomycorhizes (Nora, 2018). Ils forment un manchon fongique autour des racines et un réseau de Hartig intercellulaire mais en plus les hyphes pénètrent à l'intérieur des cellules. Ces hyphes intracellulaires sont soit sous forme de pelotons (mycorhizes arbutoïdes) soit sous forme d'hyphes très courts (mycorhizes monotropoïdes). Les ectendomycorhizes sont restreintes à des genres de végétaux particuliers : les genres *Arbutus* et *Arctostaphylos* de la famille des Éricacées mais également certaines espèces de la famille des *Monotropaceae*. Les champignons ectendomycorhiziens sont des basidiomycètes (Nora, 2018).

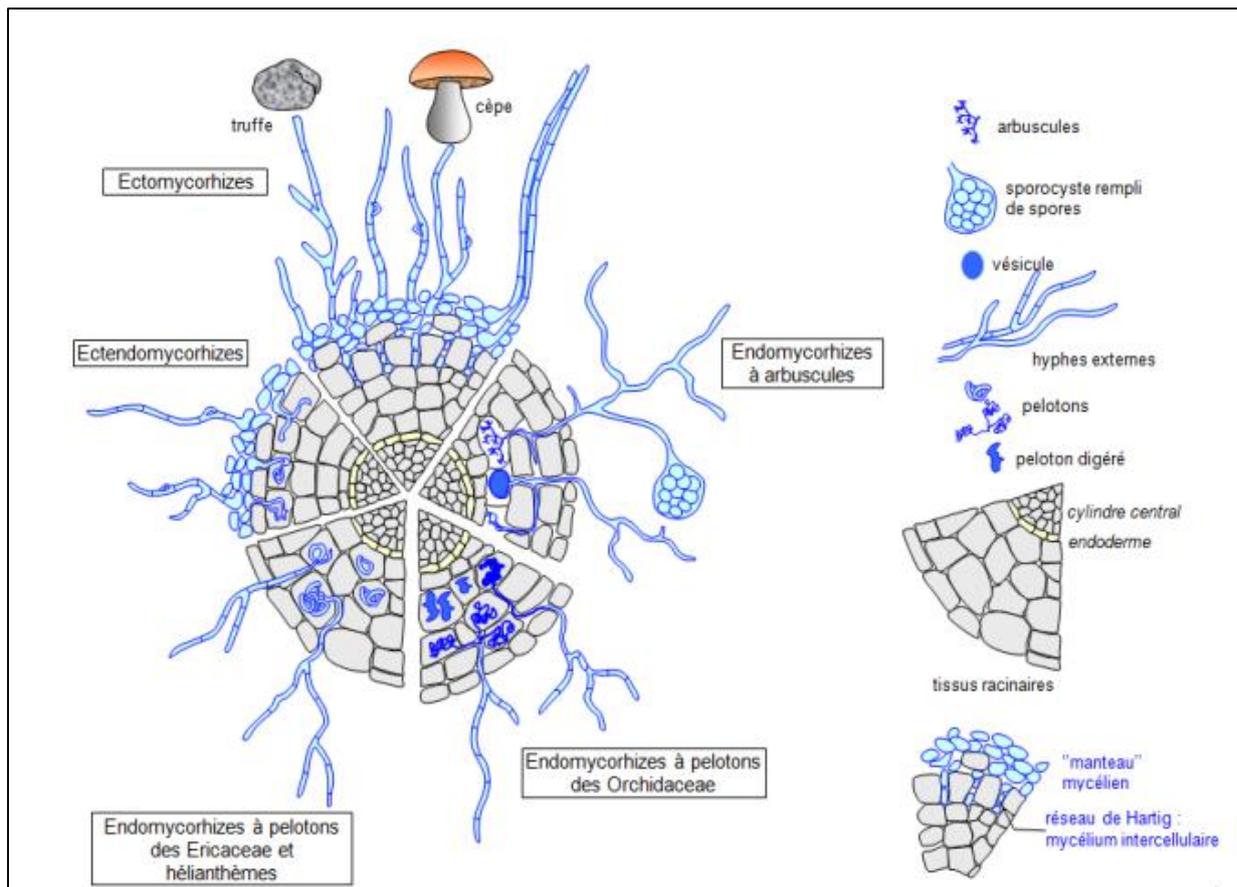


Figure 3: Les différents types d'associations mycorhiziennes sur une coupe transversale de racine (Le Tacon, 1985)

1.4.3 Effet des champignons mycorhiziens sur le sol et sur la disponibilité en éléments nutritifs aux plantes

La formation d'agrégats est un facteur important qui détermine la structure du sol. Le réseau d'hyphes propagés dans le sol par le champignon mycorhizien arbusculaire n'a pas uniquement un rôle d'absorption d'eau et de minéraux pour la plante, mais il participe également à la stabilité structurale des sols (Rillig et *al.*, 2002). Ce réseau a la capacité d'excréter une glycoprotéine appelée glomaline qui agit comme une sorte de colle pour assembler les particules les plus fines du sol et en faire des agrégats (Rillig et *al.*, 2002). Cela permet ainsi l'infiltration de l'eau, la rétention des éléments minéraux et l'aération du sol (Fortin et *al.*, 2008). Chez les mycorhizes, la fonction la plus étudiée est celle de l'absorption de l'eau et des éléments minéraux du sol, notamment le phosphore qui est peu mobile et est souvent en faible concentration dans la solution du sol. Le phosphore est un élément important qui intervient dans de nombreux processus métaboliques, notamment la biosynthèse des acides nucléiques et des membranes, la photosynthèse, la respiration et la régulation des enzymes des plantes (Jansa et Gryndler, 2010). On estime que 80% du phosphore absorbé par les plantes mycorhizées pourrait être fourni par les champignons arbusculaires. Grâce à la grande couverture du sol par le réseau

mycélien, les hyphes puisent et transportent vers la plante l'eau et les éléments nutritifs qui permettent une croissance vigoureuse des plants et un rendement plus élevé (Bencherif et al., 2015). Une expérience réalisée avec le blé soumis à deux niveaux de stress hydrique montre qu'en présence de la symbiose mycorhizienne, cette culture se développe mieux et génère une augmentation plus importante du rendement en grain (Zhang et al., 2016). Contrairement aux racines, les hyphes ont la capacité de pénétrer les interstices des agrégats pour puiser l'eau et la rendre disponible pour la plante. Dans certains cas, les bactéries fixatrices d'azote et les champignons mycorhiziens s'associent pour dissoudre des minéraux permettant ainsi aux cultures de se développer dans les sols pauvres en P et en N solubles (Ingleby et al., 2007). Les champignons mycorhiziens arbusculaires sont capables de puiser les ions phosphatés solubles dans les interstices des agrégats du sol qui sont inaccessibles aux poils absorbants, puis de rendre ces ions disponibles pour les plantes (Smith et Read, 2008). Le potassium, qui est considéré comme le troisième élément le plus important chez les plantes, assure une série de fonctions vitales : une amélioration de la qualité de remplissage des grains et augmentation de leurs poids, une augmentation de la résistance contre les maladies et les ravageurs ainsi qu'une amélioration de la résistance aux stress (Meena et al., 2015). En cas de manque de K^+ , on observe des racines peu développées, de petites graines et des rendements assez faibles (Dominguez-Nuñez et al., 2016). La symbiose mycorhizienne joue un rôle important dans la solubilisation des formes minérales de potassium en favorisant la libération de H^+ , du CO_2 et des anions tels l'oxalate, le malate et le citrate (Dominguez-Nuñez et al., 2016). Alors que l'effet de la symbiose mycorhizienne sur l'absorption en azote et en phosphore des plantes a fait l'objet d'une grande attention, on en sait très peu sur la façon dont les champignons mycorhiziens arbusculaires amélioreraient la nutrition des plantes en potassium (Smith et Read, 2008). Meena et al., (2014) ont observé une augmentation de l'absorption de minéraux, notamment le K^+ et le Mg^{2+} , chez la tomate inoculée avec le *G. intraradices*. Miransari et al. (2009a et 2009b) ont démontré la capacité des souches de *G. eutunicatum* et de *G. mosseae* à atténuer l'effet du compactage en améliorant la croissance et l'absorption de K^+ et Mg^{2+} chez le blé et le maïs. Amerah et al., (2011) ont noté une augmentation significative du prélèvement de phosphore, de potassium, d'azote et de zinc chez la luzerne lorsqu'elle est inoculée avec l'espèce *G. mosseae*. Cependant, le prélèvement des minéraux est moindre lorsque la luzerne est inoculée avec d'autres espèces telles que *G. intraradices*, *G. eutunicatum* ou la combinaison de *G. fasciculatum* et de *Gigaspora hartiga*.

1.4.4 Effet des champignons mycorhiziens sur la tolérance des plantes à la salinité

Bien que la fonction principale de la symbiose mycorhizienne soit l'amélioration de la nutrition minérale des plantes, cette symbiose est connue aussi pour son rôle dans l'amélioration de la tolérance des plantes aux stress biotiques et abiotiques. Les travaux de Djatta et *al.*, (2013) et de El Mokhtar, (2020) ont montré l'effet positif des champignons sur les cultures dans les zones affectées par le sel. Ces effets positifs pourraient être dus à la capacité du champignon mycorhizien à enrichir le sol en macro et micronutriments, à la solubilisation ou la minéralisation du phosphore et du potassium et à la dégradation de la matière organique (Smith et Read, 2008). Les CMA peuvent également réduire la concentration en Na^+ du sol affecté par le sel durant l'absorption ou le transfert de nutriments vers la plante hôte (Estrada et *al.*, 2013). Les études effectuées par Allen et Cunningham (1983) ont montré que les racines mycorhizées de *Distichlis spicata* accumulent plus de Na^+ que les racines non mycorhizées ; ce qui se traduit par une diminution de la teneur en Na^+ du substrat de culture. La baisse de Na^+ entraîne une absorption importante d'éléments nutritifs par les plantes (Hamrouni et *al.*, 2011). Diouf et *al.* (2005) ont montré qu'en condition saline, la mycorhization favorise la croissance de certaines espèces végétales telles que le maïs, les *Acacias*, le trèfle, la tomate, le concombre et la laitue. Les travaux de Munns et *al.*, (2006) et Diouf (2016) ont également montré une croissance importante des plantes comme *Acacia senegal*, et *Prosopis juliflora* avec l'apport de souches de champignons à différentes doses de salinité comparée au témoin non inoculé. Les études de Diallo et *al.*, (2016) ont aussi montré que les champignons mycorhiziens arbusculaires (*Glomus aggregatum*, *G. fasciculatum*, *G. intraratices* et *G. mosseae*) permettaient d'optimiser la productivité des plants de ricin cultivés dans des conditions de stress salin.

1.5 Présentation de la zone d'étude

Notre étude a été effectuée dans les localités de Selecky et d'Essyl situées au Sud-ouest du Sénégal, en Basse-Casamance dans la région de Ziguinchor. Ces villages sont limités au Nord par le fleuve Casamance et au Sud par un affluent dudit fleuve (PDC, 2021). L'essai a été mené durant les saisons des pluies de 2020 et 2021 dans les parcelles rizicoles de la commune d'Enampore (12° 33'20" Nord, 16° 26' Ouest) (figure 4).

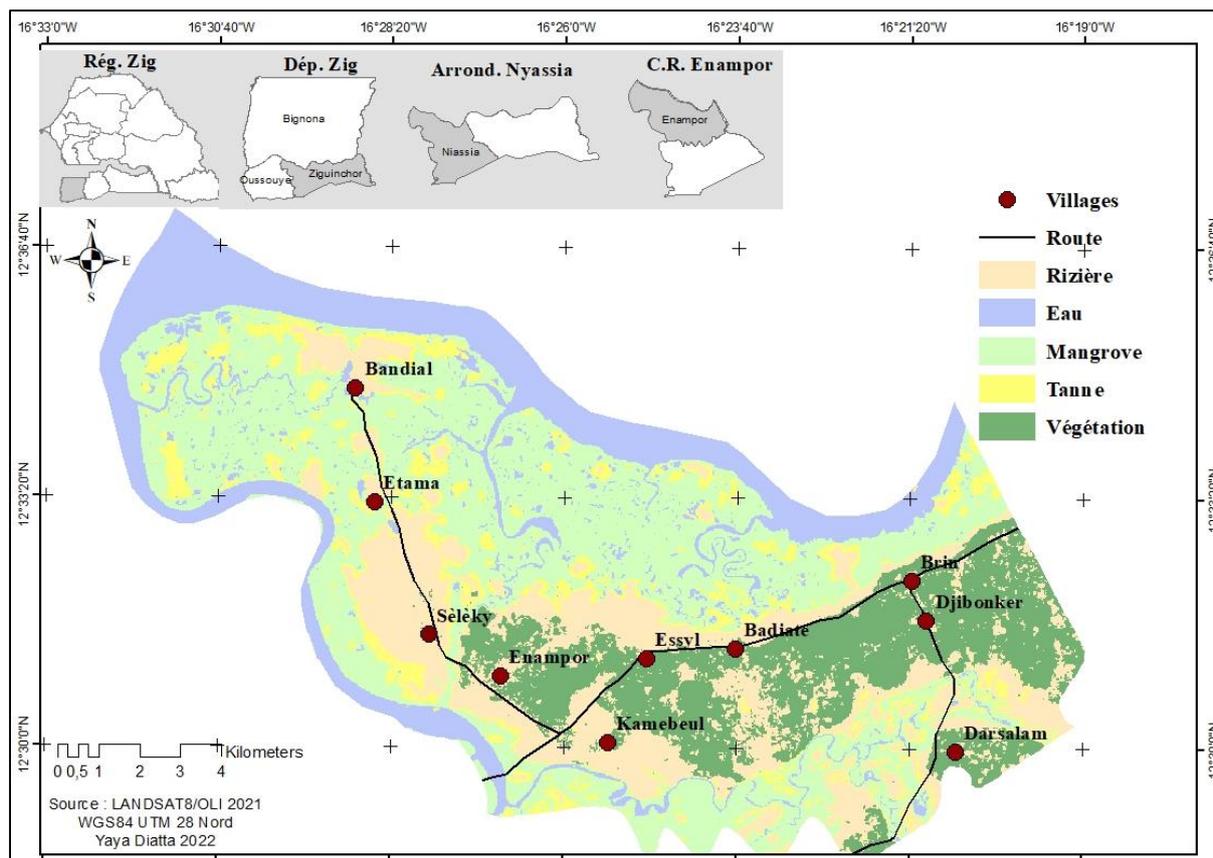


Figure 4: Carte de localisation des sites d'études

1.5.1 Climat

Le climat est de type sud-soudanien côtier (Sagna, 2005) dominé par deux saisons : une saison sèche qui s'étale de novembre à mai et une saison de pluies de juin à octobre, au cours de laquelle sont menées les activités agricoles. La température moyenne annuelle est de 27°C dont le maximum 35°C est noté au mois d'avril et le minimum 15°C au mois de décembre (Sagna, 2005).

1.5.2 Pluviométrie et température

La pluviométrie moyenne annuelle est de 1316 mm environ et permet à toutes les cultures sous pluies qui y sont pratiquées de boucler leur cycle végétatif (Figure 5). Le cumul pluviométrique fut de 2203,6 mm en 81 jours pluvieux en 2020 et de 1168,5 mm en 66 jours pluvieux en 2021 (ANACIM, 2021). Les températures moyennes sont comprises entre 20°C et 35°C. Par ailleurs, les vents dominants sont l'alizé et la mousson (PDC, 2021).

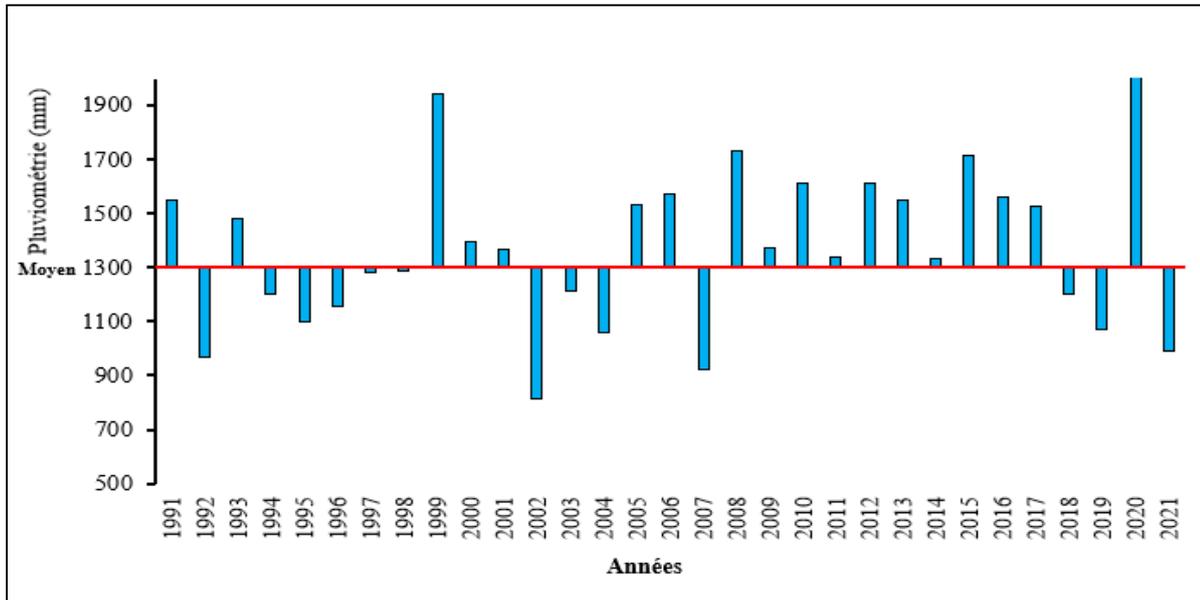


Figure 5: Évolution annuelle de la pluviométrie à la station de Ziguinchor de 1991 à 2021

Source : ANACIM Ziguinchor, 2021

1.5.3 Hydrographie

La zone est relativement plate entrecoupée de plusieurs bas-fonds, plus ou moins vastes, servant de parcelles pour la riziculture. Elle présente également de vastes étendues mortes (les estuaires).

1.5.4 Sols

On y rencontre 4 types de sols :

- ✓ sols de mangrove (sols salés ou tannes) couvrant environ 8.300 hectares; c'est principalement la zone des îles ;
- ✓ sols de plateaux (deck- dior) couvrant 4.964 hectares, concernent le continent et se retrouvent un peu partout au niveau de la communauté rurale ;
- ✓ sols hydromorphes (deck), qui occupent 4.964 hectares ;
- ✓ sols ferrugineux latéritiques, qui occupent 833 hectares (PDC, 2021).

1.5.5 Agriculture

Le secteur agricole est essentiellement dominé par une agriculture sous pluies ; elle est ainsi fortement influencée par les aléas climatiques. Du point de vue de la mécanisation, le niveau d'équipement reste faible et est de type traditionnel avec une dominance du « Kadiandou ». On constate un faible niveau d'utilisation d'intrants et un manque d'infrastructures de conservation et de transformation qui font de cette agriculture une agriculture à caractère traditionnel et extensif. Toutefois elle constitue un élément moteur pour le développement économique et

social de la communauté rurale. La baisse de la pluviométrie et l'intrusion de la langue salée dans les bas-fonds d'une part, et d'autre part la crise casamançaise, avaient conduit à une baisse progressive des superficies cultivables pour le riz. Cependant, depuis ces dernières années on assiste à une reprise des activités rizicoles du fait de l'accalmie et de la bonne pluviométrie. En ce qui concerne les cultures de plateau, on a le mil, le maïs et le sorgho comme céréales. Les cultures de rente concernent les tubercules, la patate douce et le manioc. Les cultures de niébé et d'arachide sont en pleine croissance. En saisons sèche, les productions maraîchères prises globalement connaissent une hausse progressive avec toutefois une situation instable. Ce secteur, malgré le dynamisme affiché, souffre d'un manque de professionnalisme des acteurs même si on note une présence importante de structures d'appui (ACPP, APRAN, ANCAR, PADERCA, CADL). Les contraintes notées sont la mévente des produits due entre autres à la saturation des marchés locaux, les difficultés d'écoulement vers les grands centres de consommation malgré sa proximité avec le marché de Ziguinchor. L'arboriculture est très développée dans la zone ; elle concerne les mangues et depuis peu l'anacarde. (PDC, 2021)

1.5.6 Elevage

L'élevage joue un rôle important dans l'économie mais souffre de pratiques traditionnelles et de son caractère extensif. Le cheptel bénéficie d'une biomasse naturelle quasi présente toute l'année au niveau de la communauté rurale. Ces dernières années, il y a un développement de l'aviculture avec l'installation de poulaillers modernes dans la communauté rurale. L'élevage de bovins semble être en replis du fait des vols fréquents de bétails. Au plan équipement, il faut noter une faible couverture des infrastructures pastorales. La flore mellifère très riche confère à la communauté rurale aussi une vocation apicole (PDC, 2021).

1.5.7 Flore et végétation

La commune dispose de forêts de plateau avec une dominance de palmiers à huile, de rôniers, de fromagers, nérés, de baobabs, de caïlcédrats, d'anacardiens, d'espèces forestières non ligneuses (c'est-à-dire autres que le bois), de manguiers, etc. L'écosystème mangrovien reste colonisé principalement par deux espèces d'arbustes : *Avicénia* et le *Rhizophora*. La faune compte des spécimens de singes, des antilopes, des rongeurs, des oiseaux de savane, des oiseaux des reptiles.... Ce potentiel s'effrite du fait de la perturbation de leur habitat naturel par l'homme et de la chasse (PDC, 2021). La commune dispose également d'importants essaims d'abeilles qui ont baissé de moitié face à la récurrence des feux de brousse (PDC, 2021).

CHAPITRE 2 : PERCEPTION ET STRATEGIES D'ADAPTATION DES PRODUCTEURS FACE A LA SALINISATION DES VALLEES RIZICOLES DE LA COMMUNE D'ENAMPORE EN BASSE CASAMANCE

Ce chapitre a fait l'objet de deux communications orales. Une première communication effectuée lors de la 10^{ème} édition des journées scientifiques du collectif des doctorants de l'UGB sur le thème « *Recherche scientifique, innovation technologique et entrepreneuriat au Sénégal* » du 24 au 26 Février 2022 à Saint Louis.

Une deuxième communication lors de la 1^{ère} Edition des doctoriales conjointes de l'ED-STI et l'ED-ESH sur le thème « *Recherche et innovation dans un contexte de pandémie* » 16 au 18 Novembre 2022 à Ziguinchor.

Ce chapitre a également fait l'objet d'une publication dans une revue scientifique (*European Scientific Journal*)

Diatta Y.M., Diédhiou S., Kémo Goudiaby A.O., Bassene M.J., Sagna Y.P., Sow M., Dalanda Diallo M., (2022). Perception Et Stratégies D'adaptation Des Producteurs Face À La Salinisation Des Vallées Rizicoles De La Commune d'Enampore En Basse Casamance *European Scientific Journal*, ESJ, 18 (11), 71. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n11p71>

Résumé

La dégradation du sol est un phénomène complexe, dans lequel interviennent plusieurs facteurs qui contribuent à la perte de la fertilité. Parmi ces facteurs, la salinisation des terres rizicoles est devenue une préoccupation pour les producteurs de la commune d'Enampore. L'objectif de cette étude était de contribuer à une connaissance des problèmes environnementaux induits par la salinisation des terres. Plus spécifiquement, il s'est agi d'identifier les différentes stratégies d'adaptation des producteurs. La méthodologie utilisée s'est appuyée sur l'exploitation d'un questionnaire adressé à 237 ménages sur un total de 579 ménages répartis dans 5 villages. Les résultats ont montré que les principales causes évoquées par les riziculteurs sont la baisse de la pluviométrie (46,6%) et l'avancée de la langue salée (47,2%). La présence du sel a affecté directement les rizières selon 96,7% des enquêtés. Par ailleurs, la baisse de la production a été associée à la présence de chenilles et d'insectes (49,8%) et à l'acidification (41,4%) des terres rizicoles. Selon les enquêtés (54,4%), la présence de sel sur le sol se manifeste par la formation d'une croûte saline en surface. De l'avis de ces derniers (47,1%), la salinité se matérialise par une chlorose du riz. Ce qui conduit à la mortalité des plants de riz selon 48,2% des producteurs. Face à ces problèmes, les riziculteurs ont mis en place différentes stratégies d'adaptations durables. Il s'agit entre autres de digues anti-sel et d'utilisation de fertilisants organiques

contribuant ainsi à l'amélioration des rendements. Ainsi pour une meilleure gestion des contraintes identifiées, il serait intéressant de mener des expérimentations avec l'utilisation d'amendements organiques (biochar et compost d'anacarde) afin de proposer des pratiques durables pouvant améliorer le rendement du riz.

Mots clés : salinisation, stratégies d'adaptation, riziculture, bas-fond

Abstract

Soil degradation is a complex phenomenon, involving several factors that contribute to the loss of fertility. Among these factors, salinization of rice lands has become a concern for farmers in the commune of Enampore. The objective of this study was to contribute to an understanding of the environmental problems induced by salinity. More specifically, it aimed to identify the different adaptation strategies used by farmers. The methodology used was based on a questionnaire sent to 237 households out of a total of 579 households in 5 villages. The results showed that the main causes cited by rice farmers were the decline in rainfall (46.6%) and the advance of the salt tongue (47.2%). The presence of salt directly affected the rice fields according to 96.7% of the respondents. In addition, the decline in production is subject to the presence of caterpillars and insects (49.8%) and the acidification (41.4%) of rice lands. According to the respondents (54.4%), the presence of salt on the soil is manifested by the formation of a saline crust on the surface. In the opinion of the latter (47.1%), salinity on rice is manifested by chlorosis. This leads to the mortality of rice plants, according to 48.2% of producers. In response to these problems, rice farmers are implementing various sustainable adaptation strategies. These include the installation of anti-salt dams and the use of organic fertilizers, which help to improve yields. Thus, for better management of the identified constraints, it would be interesting to conduct experiments with the use of organic amendments (biochar and cashew compost) in order to propose sustainable practices that could improve rice yields.

Keywords : salinization, adaptation strategies, rice cultivation, lowlands

2.1. Introduction

Le riz joue un rôle important dans l'économie des pays ouest-africains et dans la consommation des ménages urbains et ruraux (Fall, 2016). Il occupe une place centrale dans la diète alimentaire des Sénégalais. Cependant, l'offre locale ne couvre que 35% des besoins de consommation estimés entre 1,7 et 1,8 million de tonnes soit une consommation moyenne annuelle d'environ 100 kg/par habitant, ce qui fait du Sénégal l'un des plus gros consommateurs de riz en Afrique de l'Ouest (CIRAD, 2019 ; Mendez del Villar, 2019). La filière du riz emploie environ 1,5 million de personnes, dont la moitié est constituée de femmes. Les exploitations à petite échelle et à gestion familiale s'organisent suivant deux systèmes de production : la riziculture irriguée et la riziculture pluviale. La riziculture irriguée, pratiquée dans les vallées du fleuve Sénégal et de l'Anambé, est caractérisée par le contrôle des conditions de croissance, la pratique de deux cycles culturaux par an, et des rendements compris entre 3 et 9 t.ha⁻¹ (APRAO, 2010 ; ANSD, 2013 ; Fall, 2016). La riziculture pluviale de bas-fond est localisée dans les régions méridionales ; elle est caractérisée par une absence de mécanisation, un accès limité au crédit, aux intrants de qualité et aux variétés améliorées ; et par des rendements assez faibles (1,5 à 3 t.ha⁻¹) (Mendez et al., 2013 ; Mendez, 2019). La riziculture pluviale se pratique dans les régions du centre, du sud et du sud-est du Sénégal ; elle couvre 25% des superficies cultivées (PNAR, 2011). Cependant, depuis les années de sécheresse, une régression de la riziculture pluviale pratiquée dans les zones de bas-fond au profit des zones de plateaux a été notée (Mendy et Sy, 2015). Cette régression est à l'origine de plusieurs contraintes pédoclimatiques. Selon Albergel et al., (1993); Manzelli et al., (2015), les principales contraintes pédoclimatiques de la riziculture de bas-fond en Basse Casamance sont liées à la salinisation des sols, à la toxicité ferreuse et à l'irrégularité de la pluviométrie. Sané et al., (2015) ajoutent que les enjeux des changements climatiques constituent des facteurs aggravant leur impact socio-économique sur les ménages. Ces contraintes sont à l'origine de l'abandon de parcelles rizicoles et la baisse de rendements rizicoles en basse Casamance. Dans un tel contexte, les producteurs ont recours à différentes stratégies d'adaptation afin de minimiser l'effet du sel sur le sol et sur le riz. Ces stratégies pourraient reposer principalement sur l'apport d'amendements organiques et sur la confection des digues traditionnelles. L'objectif de ce travail a été de contribuer à une meilleure connaissance des problèmes environnementaux engendrés par la salinité et les solutions apportées à ces problèmes. Spécifiquement, il s'est agi d'identifier les différentes stratégies d'adaptation des producteurs face à la salinisation des sols.

2.2. Matériel et Méthodes

2.2.1. Méthodes

2.2.1.1. Enquêtes

2.2.1.2. Choix des sites et répartition des enquêtés

Le choix des cinq villages échantillons se justifie par leur position géographique par rapport aux bolongs mais également par l'importance des zones rizicoles affectées par la salinité. Le nombre de producteurs enquêtés a été déterminé à l'aide de la formule de Fisher (2012). Dans le cadre de cette étude, une marge d'erreur de $\varepsilon = 5\%$ a été utilisée pour calculer la taille de l'échantillon. Cette méthode a permis d'avoir un échantillon constitué de 237 producteurs (Tableau 2).

Tableau 2: Répartition des ménages enquêtés suivant les villages

Villages	Nombre de ménages	Nombre de ménages enquêtés
Badiatte	93	38
Essyl	66	27
Kamabeul	126	52
Enampore	116	47
Selecky	178	73
Total	579	237

Source : ANSD, 2013

2.2.1.3. L'échantillonnage et base de sondage

La taille de l'échantillon a été déterminée sur la base du nombre total de ménages des cinq villages à l'aide de la formule de Fischer. Selon les recensements effectués par l'ANSD (2013), le nombre total de ménages dans ces cinq villages est de 579. Ainsi, la taille de l'échantillon a été déterminée comme suit :

$$nf = \frac{n}{(1+n/N)} \text{ où } n = 1/d^2$$

nf = taille de l'échantillon ;

d = degré d'erreur =5% ;

N = nombre total des ménages

Application : $n = 1/(0,05)^2 = 400$ donc $nf = 400 / (1+400/579) = 236,68 \approx 237$ ménages à interroger.

Pour la détermination du nombre de ménages à interroger par village, une allocation proportionnelle de la taille du village en fonction du nombre de ménages pour chaque village a été déterminée et est représentée dans le Tableau 2. La base de sondage est constituée d'une liste de 579 ménages obtenue à la suite de l'exploitation des données d'enquêtes de l'ANSD en 2013.

2.2.1.4. Les enquêtes socioéconomiques

L'enquête a été réalisée à l'aide d'un questionnaire comportant à la fois des questions fermées et des questions ouvertes. Le questionnaire a porté sur : (1) l'identification des producteurs ; (2) les pratiques culturelles ; (3) les causes environnementales et socioéconomiques et (4) les différentes stratégies d'adaptation développées par les producteurs face à la salinisation des rizières. Les personnes ciblées sont les producteurs qui pratiquent la riziculture dans des bas-fonds affectés par la salinité. Le questionnaire a été administré aux producteurs reconnus comme chef d'exploitation au sein du ménage. Ce choix orienté, a conduit à un échantillon de 237 producteurs repérés dans les cinq villages par la méthode du plus proche voisin.

Analyse statistique des données

Les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel Sphinx Plus² (V5). À la suite de ce traitement, les données statistiques obtenues ont été exportées dans le tableur Excel pour la réalisation des graphiques.

2.3. Résultats

2.3.1. Caractéristiques socio-démographiques des producteurs

L'analyse des données de l'enquête montre que la majorité des enquêtés dans les cinq villages est du genre féminin 55% contre 45% du genre masculin. Pour ce qui est de la classe d'âge, l'analyse révèle que 61% des enquêtés ont un âge compris entre 50 et 75 ans. Seuls 34% des enquêtés ont un âge compris entre 25 et 50 ans. Les plus âgés ne représentent que 4% des producteurs (75-100 ans). Les mariés sont plus nombreux avec 84,8% suivis de 6,3% de veuves/veufs, 5,9% de célibataires et enfin 3% de divorcés (Figure 6a). La plupart sont analphabètes et représentent 51% des enquêtés. Seuls 24,9% ont fréquenté l'école primaire. Le reste a un niveau moyen (9,7%), secondaire (11%) ou universitaire (3,4%) (Figure 6b).

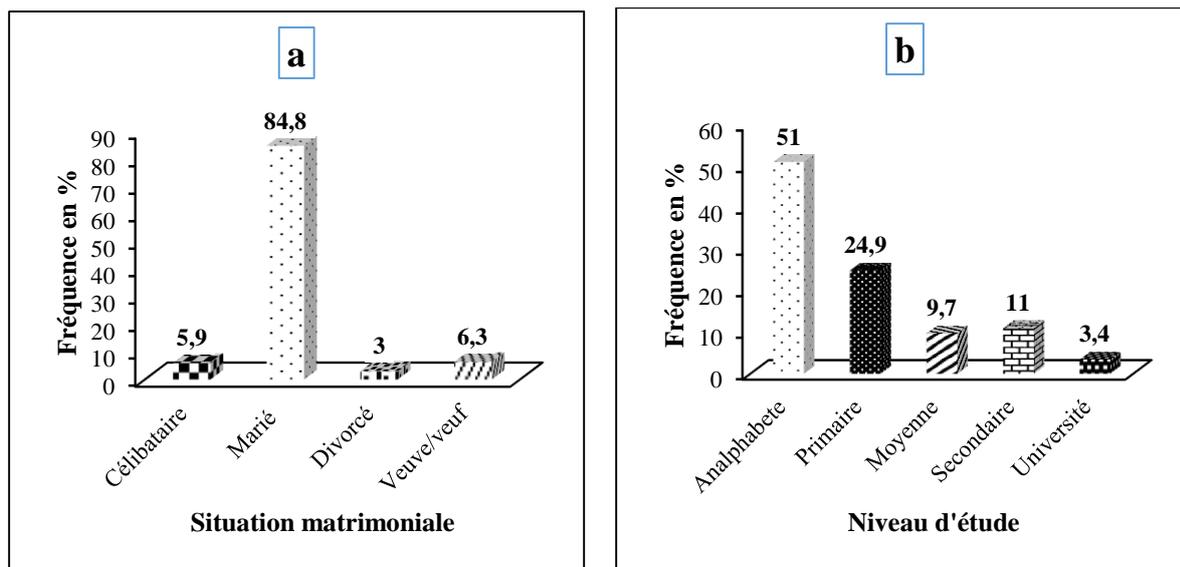


Figure 6: Situation matrimoniale (a) et niveaux d'études (b)

2.3.2. Caractérisation du système de production rizicole

2.3.2.1. Types de riziculture, durée des plants en pépinière, variétés utilisées et leurs cycles de croissance

Dans la commune d'Enampore, la riziculture de bas-fond (95%) est la plus développée par rapport à riziculture de plateau (5%). Les enquêtes ont permis de recenser 11 variétés de riz dont 5 sont homologuées (Rock 5, Warr77, NERICA, SAHEL 108 et la SAHEL 134) et 6 autres variétés (Etouhal, Efegor, Etoumouraye, Essoboro, Djibebya et Diamissey) qui sont locales et qui sont les plus cultivées comparées aux variétés homologuées. 64% de variétés produites dans le système rizicole ont un cycle cultural relativement tardif, dépassant 3 mois (Figure 7c). La variété « Etouhal » est la plus utilisée (32,2%) suivi de « Efegor », « Etoumouraye » et « Essoboro » avec respectivement 25%, 19,2% et 18,6%. Pour celles homologuées, la ROCK5 et la WARR 77 sont plus utilisées par les producteurs du fait de leur résistance à la salinité, mais aussi du fait de leur rendement élevé (Figure 7a).

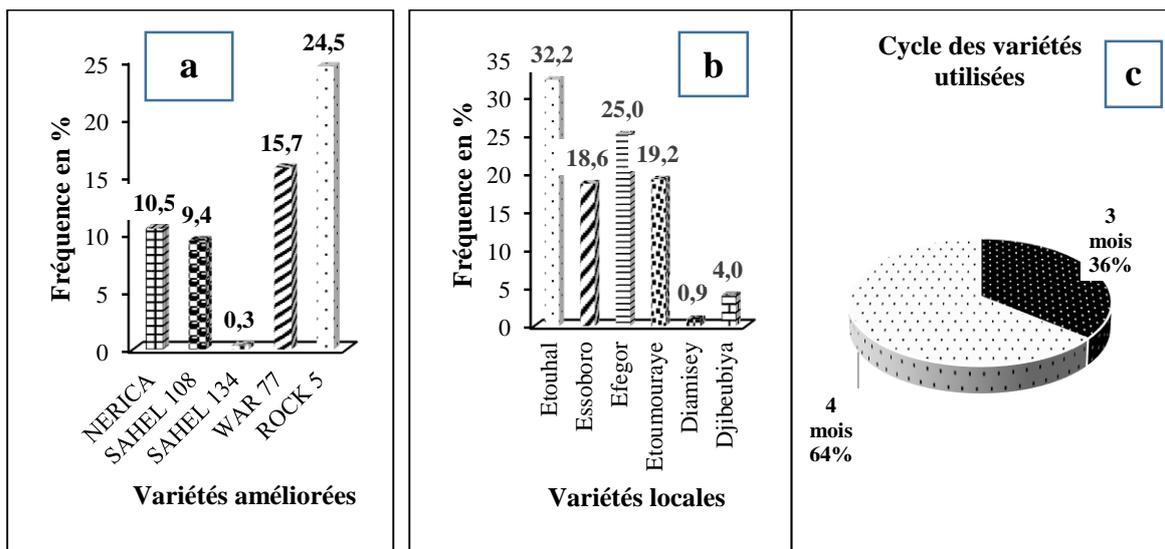


Figure 7: Différentes variétés cultivées (améliorées (a) et locales (b)) et leur cycle de croissance (c)

2.3.2.2. Types de labour, matériels utilisés et écartements adoptés pour le repiquage

Dans la commune d'Enampore, deux types de labour sont pratiqués : le labour en billons qui est majoritairement le plus pratiqué (83%) et le labour à plat qui est faiblement adopté par les producteurs (17%) et est généralement effectué dans les parcelles remembrées (Figure 8a). Pour l'essentiel, le « kadiandou » reste l'outil le plus utilisé par les populations (86,1%). Le tracteur n'est utilisé que par un nombre limité de producteurs (13,9%) et seulement dans les parcelles remembrées (Figure 8b). Lors du repiquage des plants de riz, l'écartement de 20 x 20 cm est le plus utilisé avec un taux de 73% (Figure 8b). Cependant d'autres écartements tels que 10 x 10 cm, 10 x 20 cm, 20 x 30 cm et 25 x 25 cm sont également utilisés, mais à moindre fréquence respectivement (9,8%), (5,5%), (5,1%) et (6,8%).

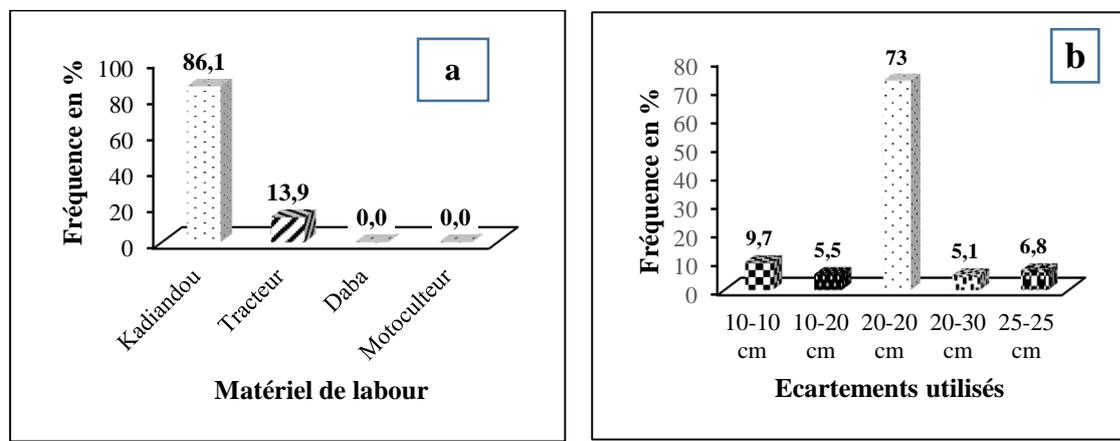


Figure 8: Outils utilisés pour le labour (a) et différents écartements utilisés lors du repiquage (b)

2.3.3. La salinisation des rizières, un facteur contraignant à la production rizicole : apparition, causes et processus

Selon les enquêtes réalisées, la problématique la plus récurrente et évoquée par les riziculteurs est la présence du sel dans les parcelles rizicoles (91%). Cette salinisation des parcelles est apparue durant les périodes [1970-1980 [et [2010-2020[pour respectivement 52,3% et 13,9% des enquêtés (Figure 9c). Les principaux facteurs de cette salinisation dans cette commune sont essentiellement la baisse de la pluviométrie (46,6%) et l'avancée de la langue salée (47,1%) (Figure 9a). Le processus de salinisation de ces terres s'effectue principalement par remontée capillaire selon 82,7% des enquêtés. La cause de l'irrigation et les brises de mer sont évoquées pour respectivement 7,3% et pour 1,2% des enquêtés (Figure 9b).

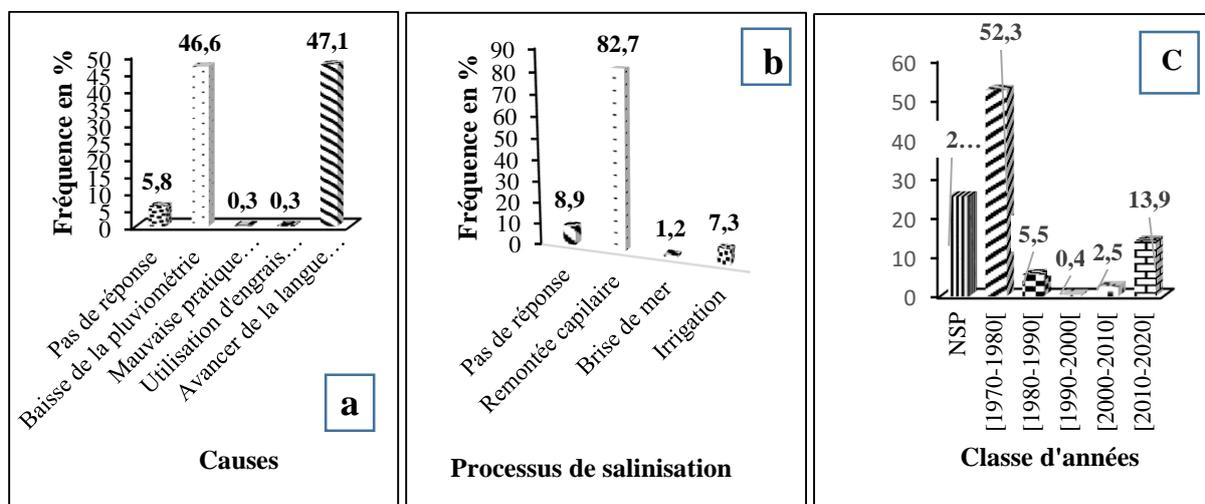


Figure 9: Causes (a), processus de salinisation (b) et chronologie de la salinisation (c)

2.3.4. Facteurs environnementaux causant la perte des plants de riz et des superficies cultivables dans les vallées d'Enampore

Un des principaux facteurs causant la perte des plants de riz est la salinité des sols qui se manifeste par la formation d'une croûte saline à la surface du sol selon 54,4% des enquêtés. Cette salinité conduit à la chlorose du riz (47,1%) et à leur mortalité (48,2%) (Figure 10b). Par ailleurs, la présence de chenilles et d'insectes ainsi que l'acidification des sols impactent négativement la production de riz respectivement selon 39,5% et 32,8% des enquêtés. Ces différentes contraintes ont causé la perte de plusieurs parcelles entre 1 à 5 parcelles selon 36,7% des producteurs enquêtés et entre 6 à 10 parcelles selon 25,4% des producteurs enquêtés (Figure 10d).

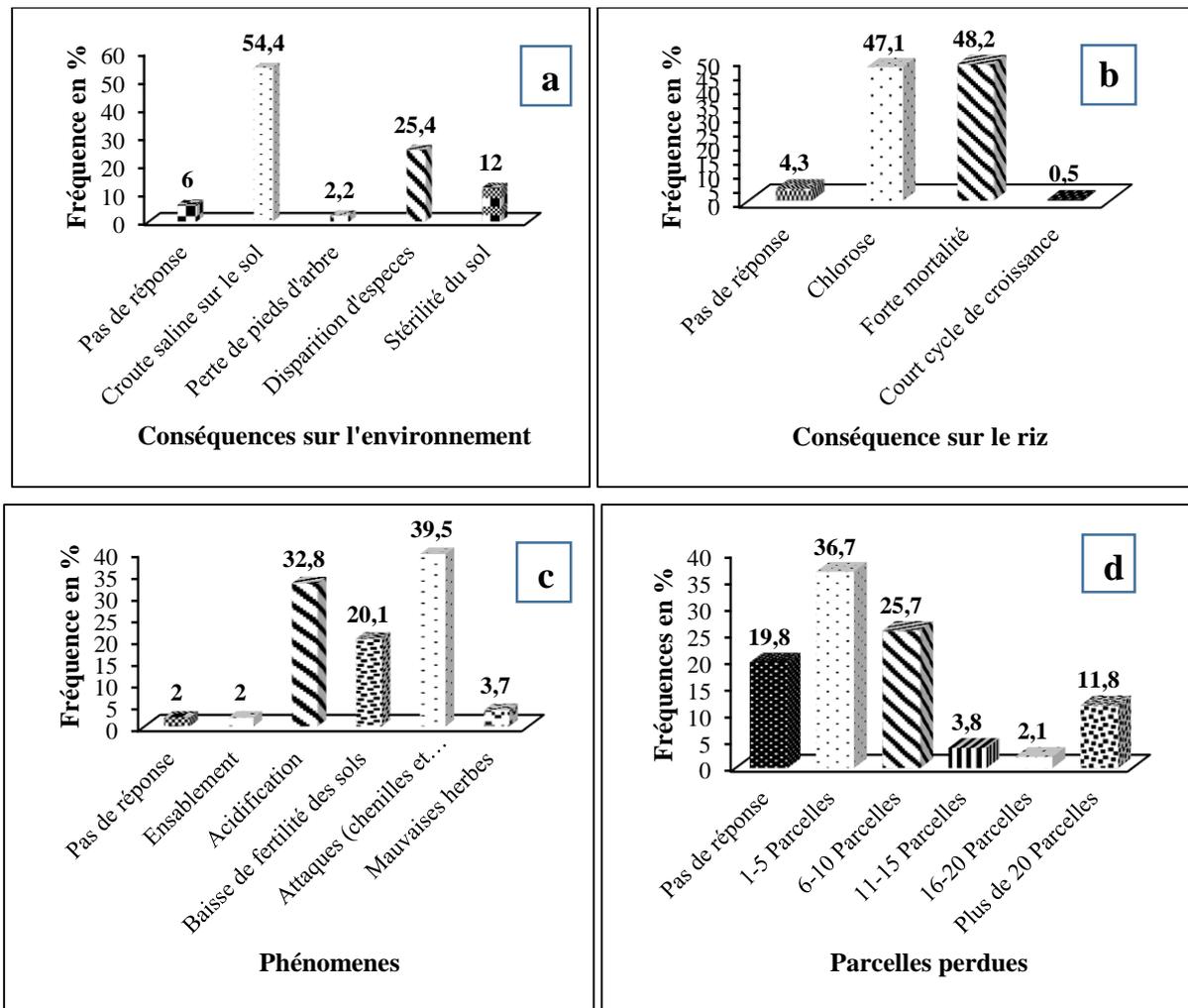


Figure 10: Effets du sel sur le sol (a) sur les plants de riz (b), autres contraintes (c) et parcelles perdues (d)

2.3.5. Stratégies d'adaptation développées par les producteurs pour atténuer l'effet du sel sur la production rizicole

Afin de minimiser les effets de la salinité sur le sol et sur le riz et d'améliorer le rendement des cultures, plusieurs stratégies ont été développées par les populations. Ces stratégies vont de la mise en place d'ouvrages à l'adoption de pratiques agricoles. Plus de 87% des enquêtés pratiquent l'endiguement contre seulement 12% qui pratiquent le remembrement des parcelles (figure 11a). Également 62,1% des enquêtés ont confectionné des digues de façon traditionnelle contre 36,8% qui bénéficient de digues modernes (Figure 11c). Les pratiques culturelles les plus développées sont l'utilisation d'amendements organiques et le billonnage pour respectivement 69,5% et 26,3% des enquêtés. Les autres pratiques telles que le paillage et le développement des plants en pépinière sont faiblement pratiqués par les enquêtés, respectivement 1,9% et 1,6% (Figure 11b).

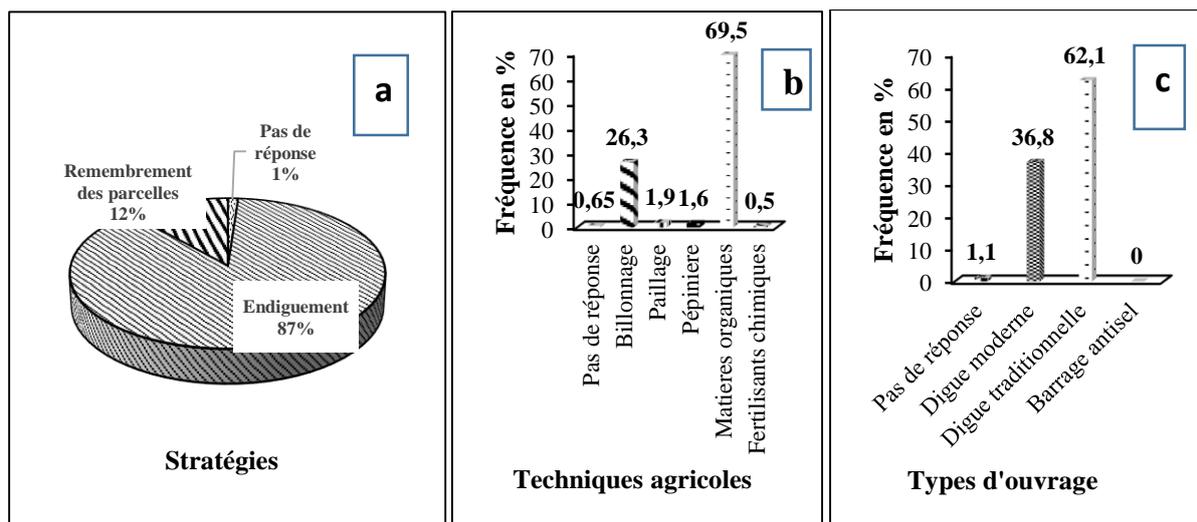


Figure 11: Stratégies (a), techniques agricoles (b) et types d'ouvrages (c)

2.3.5.1. Evaluation de l'efficacité des différentes stratégies adoptées, les difficultés rencontrées et les solutions proposées par les producteurs pour minimiser l'effet du sel sur la riziculture

Les différentes stratégies adoptées par les producteurs pour minimiser les effets du sel sur le riz sont en majorité peu efficaces selon 71% des enquêtés contre 19% qui les trouvent efficaces (Figure 12a). L'inefficacité de ces différentes stratégies serait liée à un manque de suivi des digues, à un manque de moyens financiers et enfin à un manque d'équipements selon respectivement 72%, 19% et 7% des enquêtés (Figure 12b). Pour ce faire, plusieurs solutions ont été proposées pour minimiser l'effet du sel sur la riziculture. Ces solutions proposées sont entre autres la mise en place d'une digue anti-sel qui constitue la modalité la plus fréquente puisqu'il est le recours retenu de 67,6% de riziculteurs. Il s'y ajoute aussi l'utilisation d'amendements organiques, la mise en place d'un pont, le remembrement des parcelles et l'utilisation de variétés tolérantes aux sels selon respectivement 17,4%, 11%, 3,1% et 0,3% des enquêtés (Figure 12c).

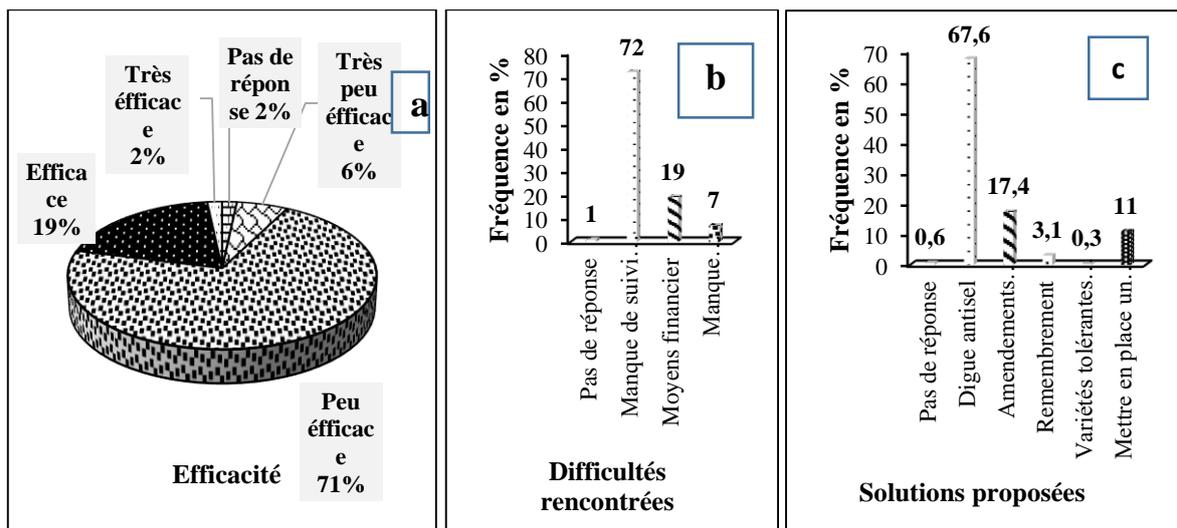


Figure 12: Efficacité des stratégies adoptées (a), les difficultés rencontrées (b) et les différentes solutions proposées pour réduire l'effet du sel sur le rendement du riz

2.3.6. Les principales activités connexes à la culture du riz

Plusieurs activités sont réalisées en plus de la riziculture ; il s'agit du maraîchage et des grandes cultures selon respectivement 36% et 16% des enquêtés, en plus d'autres activités (Figure 13).

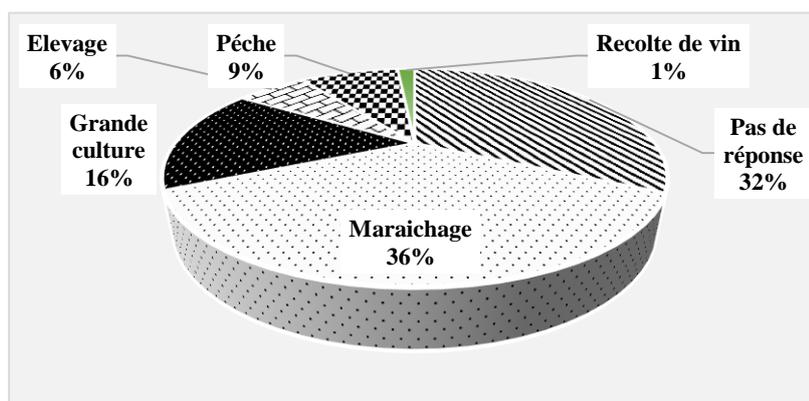


Figure 13: Activités connexes à la riziculture

2.4. Discussion

L'analyse des caractéristiques sociodémographiques des producteurs révèle qu'à Enampore plus de 55% des femmes interviennent dans les activités rizicoles contre 45% d'hommes. Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que les femmes ont une charge de travail sensiblement supérieure à celle des hommes car elles assurent toutes les tâches allant de la préparation de la rizière à la récolte en passant par la transformation manuelle des brisures du riz. En effet, le labour par billonnage qui est le plus adopté et nécessitant plus d'effort physique est fait par les hommes (GRDR, 2009 ; Mendy, 2019 ; Diédhiou et al., 2021). L'adoption du billonnage se justifie par une meilleure gestion de l'eau dans les casiers rizicoles ; mais également par une meilleure réduction de l'effet du sel sur les cultures. Cette stratégie de lutte contre la salinité est

couplée à l'adoption majoritaire de variétés traditionnelles locales beaucoup plus résistantes à la salinité telles qu'« Etouhal », « Efegor » et « Etoumouraye ». Ces variétés locales sont également utilisées lors des cérémonies traditionnelles de la communauté diola telles que la cérémonie d'initiation sacrée appelée "Boukout " (Cissoko et *al.*, 2018) et pour les pratiques rituelles notamment pendant les premières pluies vouées à la protection des récoltes (Sané et *al.*, 2018 ; Dassylva et *al.*, 2019). Hormis les variétés locales, certaines variétés homologuées telles que la Rock 5 et la War77 sont également utilisées dans cette stratégie de lutte contre la salinité. En effet, l'utilisation de ces variétés s'explique du fait qu'elles s'adaptent bien dans les zones salées, mais aussi qu'elles sont plus productives. Ces résultats sont en phase avec les travaux de Seye et *al.*, (2018) qui ont montré que les variétés « Rock 5 » et « War 77 » sont résistantes à la salinité, aux insectes et aux maladies comme la pyriculariose. Ces variétés présentent une forte sensibilité à l'égrenage, avec un rendement potentiel en grains de 5 t.ha⁻¹. Ces variétés sont également sensibles à plusieurs facteurs causant la baisse de leur rendement. Ces facteurs sont liés principalement à la baisse de la pluviométrie et à l'avancée de la langue salée. Sané (2017) avait souligné que la variabilité climatique est l'un des principaux facteurs de la salinité des eaux et des sols en Casamance. Ainsi, la dégradation des conditions climatiques intervenue en Basse-Casamance depuis le début des années 1970 a provoqué de profondes mutations environnementales, notamment sur les systèmes de production rizicoles (Sané, 2008 ; Biaye et *al.*, 2021). Marius (1985), Ndong (1996) et Sané (2008) ont ajouté que la modification du régime pluviométrique, le rétrécissement de la durée de la saison pluvieuse ainsi que l'augmentation de la température sont à l'origine de la forte salinisation des terres, de leur acidification ainsi que de l'ensablement des rizières. Selon Albergel et *al.*, (1993); Manzelli et *al.*, (2015), les principales contraintes pédoclimatiques de la riziculture de bas-fond en Basse Casamance sont surtout liées à la salinisation des sols, à la toxicité ferreuse et à l'irrégularité de la pluviométrie. Dans cette zone, le processus de salinisation se fait essentiellement par remontée capillaire. Marius (1985) et Sadio (1991) ont soutenu que la salinisation des domaines fluviomarins du Sénégal est due à l'influence marine et à la remontée capillaire rendant aléatoire la pratique de la riziculture traditionnelle, notamment celle de mangrove et de bas-fond jadis très développée (Sané, 2008). Selon Mendy (2019), la salinisation des rizières rend souvent difficile, voire impossible, la mise en valeur de certaines parcelles du fait de faibles apports d'eaux pluviales pour dessaler les bas-fonds. L'accentuation de la salinisation dans les années 1970-1980 est conforme aux résultats de Diack et *al.*, (2015), Thior et *al.*, (2019), Fall, (2020) et de Biaye et *al.*, (2021) qui ont noté que la sécheresse des années 1970 serait à l'origine de cette tendance, avec la salinisation et l'acidification des rizières et à leur abandon progressif par

les populations locales. Par rapport aux fertilisants utilisés, l'utilisation majoritaire d'amendements organiques s'explique par leur disponibilité, mais aussi par leur impact positif sur les rendements. Cependant, les agriculteurs, surtout dans les bas-fonds, utilisent de la fumure organique pour garantir le maintien de la fertilité des sols (Manzelli et *al*, 2013). Ces résultats sont en phase avec les travaux de Dassylva et *al*, (2019) qui ont montré que l'épandage de la fumure organique (ordures ménagères et bouse animale) dans les casiers rizicoles constitue le principal mode de fertilisation des sols pour 80,56 % des riziculteurs. Sene (2018) a montré aussi que dans les bas-fonds, afin de booster le rendement, les producteurs utilisent des méthodes traditionnelles d'amélioration de la fertilité des terres comme la fumure, la cendre ou les écorces d'arachide. Dans cette zone, le maraichage constitue la deuxième activité socio-professionnelle. Cependant, la tendance générale qui se dégage reste la progression de la superficie des rizières abandonnées et plusieurs solutions sont proposées afin de rendre plus productive la riziculture et de récupérer ces parcelles abandonnées : la mise en place de digues anti-sel, l'utilisation d'amendements organiques et l'adoption de variétés plus résistantes à la salinité.

2.5. Conclusion

Cette étude menée en basse Casamance dans la commune d'Enampore a permis d'analyser les pratiques culturelles en milieu paysan dans les zones citées et d'y appréhender les contraintes majeures de production rizicole. La commune d'Enampore est caractérisée par un système de riziculture de type traditionnel. Les travaux de préparation des rizières se font manuellement avec l'utilisation d'outils aratoires rudimentaires. La majorité des parcelles rizicoles de cette zone sont relativement salées. Cependant, cette dégradation des rizières est liée à des facteurs physiques avec une baisse de pluviométrie et une avancée de la langue salée, et anthropiques avec le manque de main d'œuvre pour la confection des digues, le manque de suivi des digues et le manque de moyens financiers. Ces facteurs sont à l'origine de la baisse de rendements et de l'abandon de plusieurs parcelles rizicoles. Ainsi la mise en place d'ouvrages (digue moderne et digue traditionnelle) et l'adoption des pratiques agricoles (apports d'amendements organiques, le labour par le billonnage et le développement de plants en pépinière) représentent des stratégies de lutte contre la salinisation. Toutefois, la riziculture en Basse-Casamance regorge d'énormes atouts qu'il s'avère nécessaire d'exploiter afin d'augmenter la production rizicole locale et de contribuer, au niveau national, à la réalisation de l'autosuffisance en riz au Sénégal. Ainsi, à la lumière de ce diagnostic, les principales recommandations identifiées s'articulent comme suit :

- Renforcer les techniques de gestion intégrée des sols et des eaux,
- Mettre à la disposition des producteurs des outils de lutte contre la salinité, de restauration des sols, de conservation des eaux de surface et, poursuivre les aménagements hydro-agricoles (digues de rétention, remembrement des parcelles et autres aménagements secondaires).
- Approfondir le diagnostic par le biais d'expérimentation en mettant en place un dispositif dans plusieurs localités de notre zone d'étude afin de proposer une gestion intégrée de la riziculture pluviale.

En perspective, il serait intéressant d'évaluer la diversité floristique afin de caractériser les types d'occupations de sols.

CHAPITRE 3 : EFFETS DES TYPES D'OCCUPATION DU SOL SUR LES CARACTERISTIQUES DE LA VEGETATION LIGNEUSE DANS LA COMMUNE D'ENAMPORE, SENEGAL

Ce chapitre a également fait l'objet d'une publication dans une revue scientifique (*Journal of Ecology and The Natural Environment*)

Yaya Diatta, Sire Diedhiou, Antoine Sambou, Arfang Ousmane Kémo Goudiaby, Jean Bassene, Yves Paterné Sagna, Mamadou Sow, Mariama Dalanda Diallo, Ibrahima Ndoeye and Saliou Fall, (2023). Effects of land use on floristic composition and diversity of woody vegetation in the commune of Enampore, Senegal *Journal of Ecology and The Natural Environment*, Vol. 15(2), 13.

Résumé

Les effets du type d'occupation du sol et des propriétés chimiques du sol sur la végétation ligneuse sont très peu connus en Basse Casamance et auraient un effet direct sur la diversité ligneuse. L'objectif général de cette étude a été de déterminer l'influence des types d'occupation du sol sur les paramètres de diversité et sur la structure des ligneux dans la commune d'Enampore. A cet effet, 80 relevés de végétation dont 10 dans chaque type d'occupation du sol (plateaux, bas-fonds non cultivés, bas-fonds cultivés et tannes) ont été réalisés. Les relevés étaient circulaires de rayon variant entre 15 et 100 m en fonction du type d'occupation du sol. Pour chaque relevé, les propriétés chimiques (pH et salinité) du sol, la diversité, la densité, l'abondance, la régénération et les paramètres dendrométriques (hauteur et diamètre) des ligneux ont été déterminés. Ainsi, les bas-fonds non cultivés et les tannes ont enregistré des pH plus acides ($\text{pH} \leq 4,62$) et des conductivités électriques plus importantes ($\text{CE} \geq 580 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$). Au total, 33 espèces appartenant à 31 genres relevant de 18 familles botaniques ont été recensées sur l'ensemble des types d'occupation du sol. Les types d'occupation ont influencé significativement ($p < 0,05$) la diversité, l'abondance et la densité des ligneux. Les plateaux ont enregistré les valeurs de l'indice de Shannon ($1,05 \pm 0,46$; $0,73 \pm 0,25$ nats) les plus importantes respectivement dans les sites de Essyl et de Selecky. La salinité a eu une forte influence sur la végétation située dans tannes et des bas-fonds non cultivés. Les structures verticales et horizontales ont une allure en « J renversé » et asymétrique positive ou asymétrique droite typique respectivement d'un peuplement multi spécifique ou inéquien et mono spécifiques avec prédominance d'individus jeunes ou de faible diamètre. La diversité et la densité des ligneux dans la commune d'Enampore sont influencées par le type d'occupation et la salinité du sol.

Mots clés : Occupation du sol, pH, salinité, ligneux, diversité, structure

Abstract

The effects of land use type and soil chemical properties on woody vegetation are poorly known in Lower Casamance and are thought to have a direct effect on woody diversity. The overall objective of this study was to determine the influence of land use types on diversity parameters and woody structure in the commune of Enampore. To this end, 80 vegetation surveys were conducted, 10 of which were in each land use type (uplands, uncultivated lowlands, uncultivated lowlands, and tans). The surveys were circular with a radius varying between 15 and 100 m depending on the land use type. For each survey, the chemical properties (pH and salinity) of the soil, diversity, density, abundance, regeneration and dendrometric parameters (height and diameter) of the woody plants were determined. Thus, uncultivated lowlands and tans recorded more acidic pH ($\text{pH} \leq 4.62$) and higher electrical conductivities ($\text{EC} \geq 580 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$). A total of 33 species belonging to 31 genera from 18 botanical families were recorded across all land cover types. Land cover types significantly ($p < 0.05$) influenced woody diversity, abundance and density. The plateaus recorded the highest Shannon index values (1.05 ± 0.46 ; 0.73 ± 0.25 nats) at the Essyl and Selecky sites respectively. Salinity had a strong influence on vegetation located in tannas and uncultivated lowlands. Vertical and horizontal structures have an "upside-down J" shape and positive asymmetry or right asymmetry, typical respectively of a multi-specific or uneven-aged stand and a mono-specific stand with a predominance of young or small-diameter individuals. The diversity and density of woody plants in the Enampore commune are influenced by the type of occupation and soil salinity.

Key words: Soil cover, pH, salinity, woody plants, diversity, structure

3.1. Introduction

Les forêts et les zones boisées qui entourent les habitats ruraux fournissent de vastes ressources naturelles telles que le bois de chauffage et de construction, la nourriture, les médicaments et les fibres (Shackleton et Gumbo, 2010). En Basse Casamance, les ligneux jouent un rôle très important dans la vie des populations rurales (Rabiou et *al.*, 2014). Ces espèces ligneuses sont considérées par les populations rurales comme une ressource clé qui fournit de nombreuses fonctions (Ganaba et Guinko, 1995). Elles contribueraient à atténuer les phénomènes climatiques extrêmes. Cependant plusieurs espèces ligneuses qui ont un intérêt écologique, socioéconomique et culturel sont conservées dans les champs de culture (Sambou et *al.*, 2017). Ces espèces ligneuses sont caractéristiques des parcs agroforestiers qui, malgré leur importance, sont soumises à une dégradation causée par plusieurs facteurs naturels, climatiques et anthropiques (Samaké et *al.*, 2011; Diatta et *al.*, 2016). Parmi ces facteurs, il faut noter la surexploitation des ressources, le changement d'affectation des terres, les feux de brousse, le changement climatique ainsi que la détérioration des propriétés des sols (salinisation et pH) (Brandt et *al.*, 2014; Sambou et *al.*, 2016). Ces facteurs créent un déséquilibre dans l'écosystème et causerait des dommages importants à la faune, au pâturage, aux habitats et au couvert végétal avec la disparition de certaines espèces ligneuses (Mbow et *al.*, 2000). De même, la salinisation et l'acidification des sols ont contribué à la régression de la végétation en Basse Casamance et plus particulièrement dans la commune d'Enampore. Selon plusieurs auteurs (Sambou et *al.*, 2017 ; Bouko et *al.*, 2007), la régression de la végétation ligneuse varie suivant les types d'occupation du sol et les caractéristiques tels que le pH et salinité des sols.

Cependant, les connaissances sur la distribution spatiale de la diversité et de la densité de la végétation ligneuse à travers les classes de paysage sont encore limitées (Foley et *al.*, 2005). En particulier, plus d'informations sont nécessaires sur la façon dont la diversité des ligneux dans les zones agricoles se compare à d'autres parties des paysages (Raebild et *al.*, 2007). Dans ce travail, nous avons étudié la distribution spatiale des espèces ligneuses et ses facteurs déterminants suivant les types d'occupation du sol dans la commune d'Enampore en Basse Casamance.

3.2. Matériel et Méthodes

3.2.1. Echantillonnage et collecte de données

Les images de Google Earth ont été combinées avec une interprétation visuelle de l'imagerie Landsat pour une évaluation exploratoire avant le travail de terrain. La classification des images satellites a été basée sur l'utilisation de classes de paysage (Dewan et *al.*, 2012; Dieng et *al.*,

2014; Sambou et *al.*, 2016). Quatre classes de paysage (Plateau, bas-fond cultivé, bas-fond non cultivé et les tannes) ont été identifiées. Après la sélection des sites (Selecky et Essyl) et des types d'occupation du sol, une visite de prospection a été organisée pour valider la classification, cartographier et délimiter les classes d'unités paysagères en utilisant le GPS. En se basant sur la classification des unités paysagères suivant les types d'occupation, un échantillonnage stratifié a été effectué. Dans chaque type d'occupation du sol, 10 placettes ont été sélectionnées au hasard en choisissant des coordonnées géographiques (Figure 14). Un total de 80 placettes dont 40 dans chaque site a été sélectionné. Afin d'obtenir un nombre approximativement similaire d'arbres dans chaque parcelle, on a adopté des placettes circulaires de taille variable en fonction du type d'occupation du sol, soit 15 m de rayon pour les plateaux et les tannes et 100 m de rayon pour les bas-fonds non cultivés et les bas-fonds cultivés. Dans chaque placette, toutes les espèces ligneuses ont été identifiées et comptées, et le diamètre, la hauteur ont été mesurés. Tous les individus dont le diamètre est supérieur à 5 cm ont été mesurés à 1,30 m à l'aide d'un compas forestier. Par ailleurs, tous les individus dont le diamètre est inférieur à 5 cm ont été comptés systématiquement. La hauteur totale de chaque individu a été mesurée à l'aide d'un Blum leiss. Dans chaque placette, un échantillon de 500 g de sol a été prélevé à l'aide d'une tarière et à plusieurs endroits définis au hasard. Les prélèvements de sols ont porté sur l'horizon 0-30 cm avec des échantillons composites. Ces échantillons ont été apportés au laboratoire d'agroforesterie et d'écologie (LAFE) de l'Université Assane Seck de Ziguinchor pour déterminer le pH et la conductivité électrique (CE). Ces échantillons de sol collectés ont été séchés à l'ombre pendant 72 heures afin d'en diminuer l'humidité. Pour chaque échantillon de sol, nous avons utilisé 20 g de sol mélangé avec 50 ml d'eau distillée, puis le mélange a été agité pendant 2 minutes. Le pH-mètre VWR à électrode de verre a été utilisé pour mesurer le pH et la salinité.

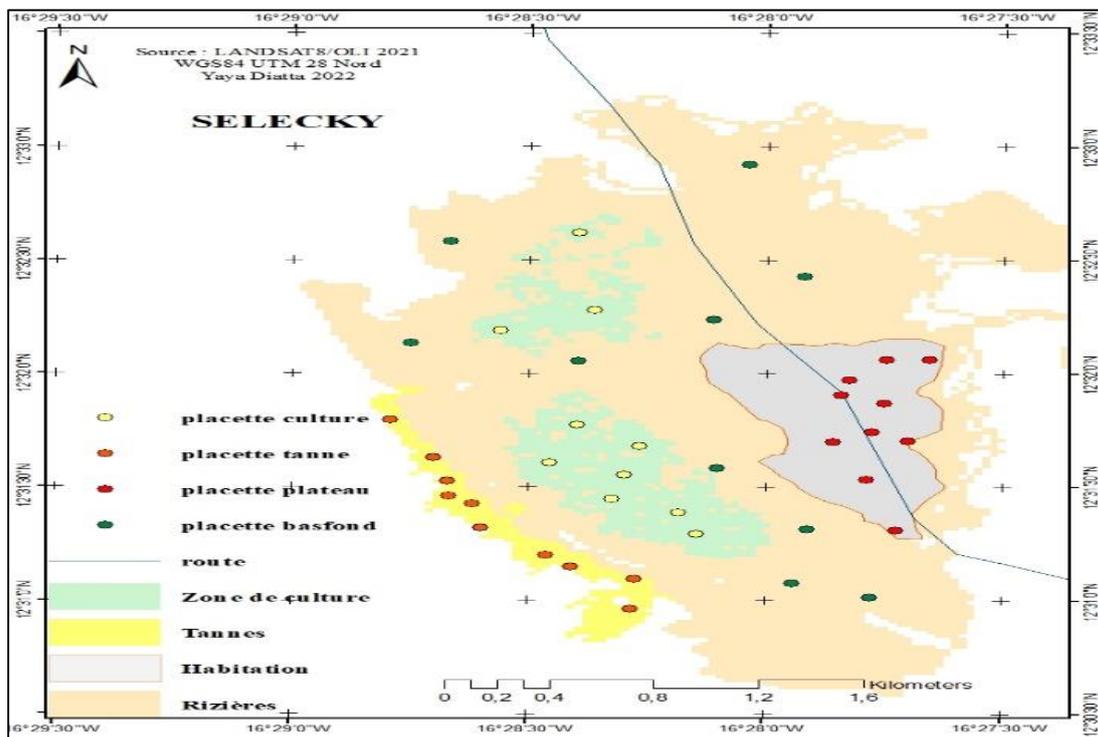
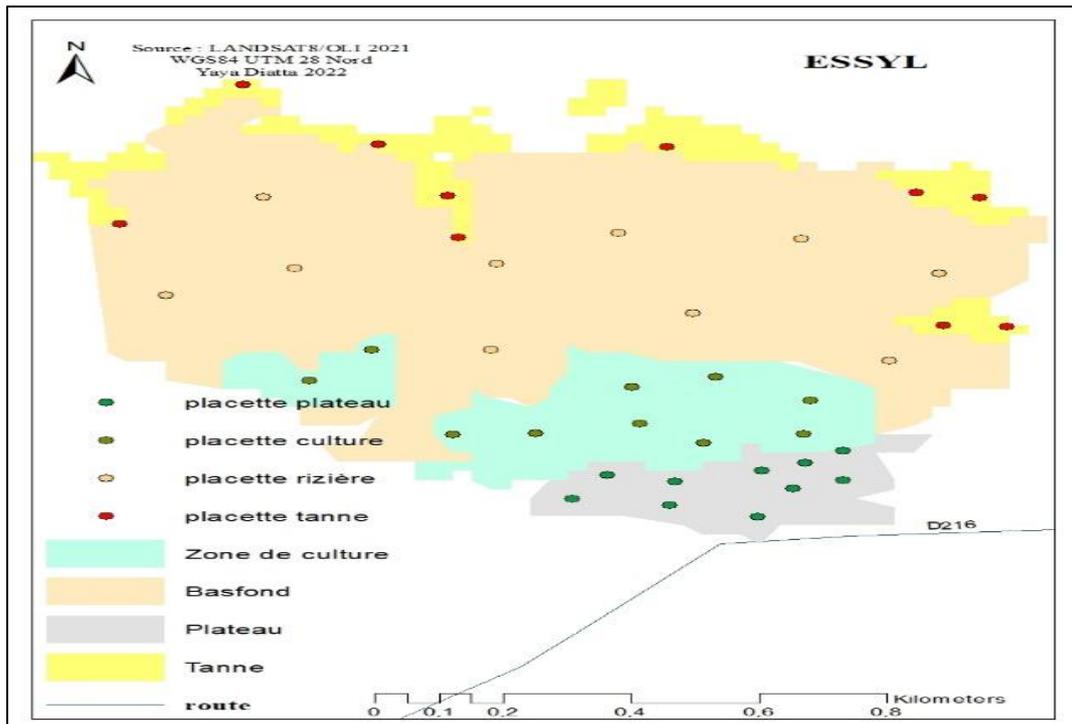


Figure 14: Localisation des placettes d’inventaire suivant les types d’occupation pour les sites de Essyl et de Selecky

3.2.2. Analyse et traitement des données

Les données ont été analysées et les paramètres de la végétation ligneuse telle la densité, la diversité et la structure ont été calculés. La densité est le nombre d’individus par unité de

surface. Elle s'exprime en nombre d'individus.ha⁻¹. La densité observée ou réelle (D) est obtenue par la formule suivante :

$$D = \frac{N}{S}$$

D : la densité (nombre d'individus par hectare) ; N : le nombre total d'individus ; S : la superficie (ha).

Pour évaluer la composition floristique et la diversité de la végétation ligneuse suivant les types d'occupation, les indices de Menhinick et de Shannon, l'équitabilité de Pielou et la dissimilarité de Jaccard ont été déterminés. **L'indice de richesse de Menhinick** (Whittaker et Rh, 1977) D_{Mn} a été déterminé à partir de la formule :

$$DMn = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

D_{Mn} : Indice de richesse de Menhinick ; S : richesse spécifique qui est le nombre total d'espèces que comporte le peuplement considéré dans un écosystème donné (Ramade, 2003) ; N : abondance totale.

L'indice de Shannon est un indice de diversité qui mesure la composition en espèces d'un peuplement en tenant compte de la richesse spécifique et de l'équitabilité des espèces (Felfili et al., 2004). L'indice de Shannon (H') est calculé à partir de la formule :

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

H' : indice de Shannon ; p_i : abondance relative.

L'équitabilité de Pielou (Pielou, 1966) encore appelée équitabilité de Shannon traduit la manière dont les individus sont distribués à travers les espèces et permet de dire si un espace est dominé par une quelconque espèce (Adjakpa et al., 2013). L'équitabilité de Pielou (J') se calcule à partir de la formule :

$$J' = H' / \ln S$$

H' : indice de Shannon ; S : richesse spécifique

Pour déterminer la différence de composition des espèces entre les types d'occupation du sol, la dissimilarité de Jaccard et l'analyse en composantes principales (ACP) ont été effectuées. **La**

dissimilarité de Jaccard (Colwell et Coddington, 1994) ou distance écologique de Jaccard (J) a été calculée à partir de l'équation :

$$J = 1 - \frac{\sum \min(a_i, b_i)}{\sum \max(a_i, b_i)}$$

Avec a_i : abondance de l'espèce i dans le site A et b_i : abondance de l'espèce i dans le site B.

Les données sous forme de matrices de communauté et d'environnement ont été analysées avec BiodiversityR (3.5.0) pour comparer la diversité et la composition floristique entre les types d'occupation du sol. La différence entre les types d'occupation a été testée par une analyse de variance (ANOVA) suivie de test de comparaison multiple de Fisher au seuil de 0,05. Les données des paramètres dendrométriques ont été groupées en classes de diamètre et de hauteur pour caractériser les structures horizontales et verticales de la végétation ligneuse. Pour chaque classe de diamètre et de hauteur, les fréquences ont été représentées pour les espèces ligneuses. De même, la structure des diamètres et des hauteurs a été tracée en fonction du type d'occupation du sol.

Les variables explicatives de la distribution des espèces ont été identifiées à l'aide d'analyse de régression en utilisant le modèle suivant :

$$Y = \text{Types d'occupation} + \text{CE} + \text{pH}$$

Y est la variable expliquée (Indice de Menhinick, abondance, densité et indice de Shannon).

3.3. Résultats

3.3.1. Caractérisation du sol

L'analyse de la variation du pH et de la conductivité électrique (CE) suivant les types d'occupation nous montre une différence significative ($p < 0,05$) dans les deux sites. Le pH du sol dans les deux sites a varié entre 4,25 et 5,48 et a été significativement différent entre les types d'occupation ($p < 0,05$). En effet, les pH les plus élevés, ont été obtenus au niveau des plateaux (5,3) et des Bas-fonds non cultivés (5,27). Ces deux types d'occupation sont aussi caractérisés par un taux de salinité faible. La conductivité électrique a varié entre 62 et 6479,75 $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ dans la zone d'étude. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau des tannes avec une CE variant entre 5280 et 6479 $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Tableau 3: Variation du pH et de la conductivité électrique (CE) du sol des différents types d'occupation sur les deux sites

Sites	Types d'occupation	pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)
Selecky	Bas-fond non cultivé	4,25±0,33 ^{c*}	1497±1195 ^b
	Plateau	5,3±0,43 ^a	62±19,23 ^c
	Tanne	4,25±0,07 ^c	5280±707,1 ^a
	Bas-fond cultivé	4,66±0,36 ^b	292±248,89 ^c
	Probabilité	0,00028	9,71E-08
Essyl	Bas-fond non cultivé	4,62±0,7 ^{bc}	580±230,11 ^b
	Plateau	5,48±0,71 ^a	62,22±52,14 ^b
	Tanne	4,48±0,48 ^c	6479,75±709,25 ^a
	Bas-fond cultivé	5,27±0,75 ^{ab}	416±346,89 ^b
	Probabilité	0,011	2,00E-16

* Les valeurs sur une même colonne présentant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes (Test de Fisher LSD, seuil 5%)

3.3.2. Composition floristique et diversité

L'inventaire a permis de recenser 33 espèces ligneuses appartenant à 18 familles. Un total de 31, 9, 8 et 4 espèces ligneuses ont été enregistrées respectivement en zone de plateau, bas-fond cultivé, bas-fond non cultivé et dans les tannes. Les familles les plus riches en espèces sont les *Fabaceae*, *Apocynaceae*, *Combretaceae* et les *Moraceae*. Nous avons constaté une similarité dans la composition spécifique des types d'occupation pour l'espèce *Faidherbia albida* (Delile) A.Chev. Toutefois, certaines espèces sont uniques à l'une des types d'occupation. C'est le cas du plateau avec les espèces spécifiques suivantes : *Lannea acida* A.Rich, *Mangifera indica* L., *Uvaria chamae* P.Beauv, *Holarrhena floribunda* (G.Don) T.Durand & Schinz, *Landolphia heudelotii* A.DC, *Saba senegalensis* A.DC, *Voacanga africana* Stapf ex Scott-Elliot., *Alchornea cordifolia* (Schumach et Thonn) Mull.Arg., *Cassia sieberiana* DC, *Dialium guineense* Willd, *Ficus sycomorus* L, *Ficus sure* Forssk, *Ficus vogelii* (Miq.) Miq., *Morinda citrifolia* L., *Fagara zanthoxyloides* Lam, *Allophilus africanus* (Schumach et Thonn) Mull.Arg., *Cola cordifolia* (Cav.) R.Br, *Gmelina arborea* Roxb. Ex Sm. Pour les tannes, les espèces spécifiques ont été *Conocarpus erectus* L et *Rhizophora racemosa* G.Mey. (Tableau 4). Pour tous les deux sites, la composition floristique a varié en fonction des types d'occupation avec des valeurs beaucoup plus importantes dans les plateaux à Essyl et à Selecky respectivement 22 et 18 espèces réparties dans 22 genres et 13 familles à Essyl, et 17 genres, 12 familles à Selecky.

Tableau 4: Liste des espèces recensées dans les deux sites

Familles	Genres	Espèces	Types d'occupation			
			plateau	bas-fond cultivé	bas-fond non cultivé	tanne
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Lannea</i>	<i>Lannea acida</i> A.Rich.	+			
	<i>Mangifera</i>	<i>Mangifera indica</i> L.	+			
<i>Annonaceae</i>	<i>Uvaria</i>	<i>Uvaria chamae</i> P.Beauv.	+			
<i>Apocynaceae</i>	<i>Holarrhena</i>	<i>Holarrhena floribunda</i> (G.Don) T.Durand & Schinz	+			
	<i>Landolphia</i>	<i>Landolphia heudelotii</i> A.DC.	+			
	<i>Saba</i>	<i>Saba senegalensis</i> (A.DC.) Pichon	+			
	<i>Voicanga</i>	<i>Voicanga africana</i> Stapf ex Scott-Elliot,	+			
<i>Areceae</i>	<i>Borassus</i>	<i>Borassus akaessii</i> Bayton, Ouédraogo et Guinko	+	+	+	
	<i>Elaeis</i>	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	+	+	+	
<i>Bombacaceae</i>	<i>Andansonia</i>	<i>Andansonia digitata</i> L.	+	+		
<i>Chrysobalanaceae</i>	<i>Neocarya</i>	<i>Neocarya macrophylla</i> Sabine	+		+	+
<i>Combretaceae</i>	<i>Combretum</i>	<i>Combretum micranthum</i> G.Don	+			
	<i>Conocarpus</i>	<i>Conocarpus erectus</i> L.				+
	<i>Terminalia</i>	<i>Terminalia macroptera</i> Guill et Perr.	+	+		
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Alchornea</i>	<i>Alchornea cordifolia</i> (Schumach et Thonn) Mull.Arg.	+			
	<i>Acacia</i>	<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex Delile	+		+	
	<i>Cassia</i>	<i>Cassia sieberiana</i> DC	+			
	<i>Dialium</i>	<i>Dialium guineense</i> Willd	+			
	<i>Faidherbia</i>	<i>Faidherbia albida</i> (Delile) A.Chev.	+	+	+	+
	<i>Parkia</i>	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R.Br. Ex G. Don.	+	+	+	
	<i>Piliostigma</i>	<i>Piliostigma thonningii</i> (DC.) Hochst	+	+	+	
<i>Fabaceae</i>	<i>Prosopis</i>	<i>Prosopis africana</i> (Guill . et Perr.) Taub.	+			
	<i>Ceiba</i>	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn	+	+		
<i>Meliaceae</i>	<i>Azadirachta</i>	<i>Azadirachta indica</i> A.Juss	+	+	+	
<i>Moraceae</i>	<i>Ficus</i>	<i>Ficus sycomorus</i> L.	+			
		<i>Ficus sur</i> Forssk	+			
		<i>Ficus vogelii</i> (Miq.) Miq.	+			
<i>Rhizophoraceae</i>	<i>Rhizophora</i>	<i>Rhizophora racemosa</i> G.Mey.				+
<i>Rubiaceae</i>	<i>Morinda</i>	<i>Morinda citrifolia</i> L.	+			
<i>Rutaceae</i>	<i>Fagara</i>	<i>Fagara zanthoxyloides</i> Lam.	+			

<i>Sapindaceae</i>	<i>Allophilus</i>	<i>Allophilus africanus</i> L.	+
<i>Sterculiaceae</i>	<i>Cola</i>	<i>Cola cordifolia</i> (Cav.) R.Br.	+
<i>Verbenaceae</i>	<i>Gmelina</i>	<i>Gmelina arborea</i> Roxb. Ex Sm.	+

Les paramètres de diversité, tels que l'abondance et la densité montrent qu'il existe une différence significative ($p < 0,05$) entre les types d'occupation sur les deux sites à l'exception de l'indice de Shannon à Selecky et de l'indice de Pielou à Essyl ($p > 0,05$). Les types d'occupation ont influencé significativement l'ensemble des paramètres étudiés quelque soient les sites avec des valeurs plus élevées au niveau du plateau (Tableau 5).

Tableau 5: Test des différences sur la structure et la diversité de la végétation pour les types d'occupation du sol dans les deux sites, avec les valeurs moyennes pour chaque variable dans chaque type d'occupation

Sites	Types d'occupation	Abondance	Indice Menhinick	Shannon	Pielou	Densité
Essyl	Bas-fond non cultivé	18±16,01b*	0,79±0,25a	0,68±0,27b	0,69±0,2ab	0,001±0,00b
	Plateau	54±24,62a	0,87±0,39a	1,05±0,46a	0,59±0,15b	0,07±0,03a
	Tanne	7,5±8,07b	0,60±0,27a	0,05±0,12c	0,44±NA b	0,011±0,01b
	Bas-fond cultivé	16±14,12b	0,86±0,39a	0,69±0,39b	0,78±0,19a	0,001±0,00b
	Probabilité	3,43E-05	0,44	0,00013	0,098	1,17E-09
Selecky	Bas-fond non cultivé	4±3,4b	0,93±0,56a	0,35±0,4a	1±0,00a	0,0001±0,00b
	Plateau	24,4±23,6a	0,83±0,23a	0,73±0,25a	0,67±0,22a	0,0346±0,03a
	Bas-fond cultivé	4,9±4,4b	0,88±0,34a	0,37±0,45a	0,80±0,17a	0,0002±0,00b
	Tanne	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b
	Probabilité	0,038	0,89	0,098	0,133	0,0093

*Les valeurs sur une même colonne présentant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes (Test de Fisher LSD, seuil 5%).

3.3.3. Différence de composition d'espèces

L'analyse de la dissimilarité entre les types d'occupation dans les deux sites a montré une dissimilarité supérieure à 58% (Tableau 6). Les distances écologiques les plus importantes ont été notées entre les tannes et les autres types d'occupation du sol. Il découle de l'ACP une différence entre les différents types d'occupation (Figure 16). Les tannes et les bas-fonds non cultivés sont associés à une salinité élevée caractérisée avec des valeurs de conductivité électrique (CE) importantes. Les valeurs de pH sont plus élevées au niveau des plateaux. L'analyse a montré une opposition entre le pH et la conductivité électrique (CE) dans les deux sites (Essyl et Selecky). Les types d'occupation du sol ont un effet significatif sur la répartition des espèces ligneuses. La classification ascendante hiérarchique (CAH) nous a permis de voir la dissimilarité entre les différents types d'occupation. Pour les deux sites, nous notons qu'il y a une dissimilarité entre les plateaux, les tannes et les bas-fonds cultivés ou non. Cependant une

similarité est notée entre les bas-fonds cultivés et les bas-fonds non cultivés. Ainsi trois groupes ont été mis en évidence pour chacun des deux sites (Selecky et Essyl) selon la classification hiérarchique ascendante. A Selecky, un premier groupe est constitué de plateaux et est peuplé principalement par *Lannea acida*, *Uvaria chamae*, *Saba senegalensis*, *Dialium guineense*, *Ficus sycomorus*, *Ficus sur*, *Ficus vogelii*, *Fagara zanthoxyloides*, *Allophilus africanus*, *Ceiba pentandra*, *Elaeis guineensis*, *Borassus akeassii* et *Adansonia digitata*. Un deuxième groupe (bas-fond cultivé) est caractéristique des espèces spécifiques telles que *Faidherbia albida* et *Azadirachta indica*. Enfin, le troisième groupe (bas-fonds non cultivé et tannes) est caractérisé par la présence de l'espèce *Neocarya macrophylla*.

A Essyl, le premier groupe (plateau) est caractérisé par l'occurrence des espèces *Mangifera indica*, *Uvaria chamae*, *Holarrhena floribunda*, *Landolphia heudelotii*, *Saba senegalensis*, *Alchornea cordifolia*, *Cassia sieberiana*, *Dialium guineense*, *Ficus sur*, *Morinda citrifolia*, *Cola cordifolia*, *Gmelina arborea*, *Terminalia macrophylla*, *Prosopis africana*, *Combretum micranthum*, *Faidherbia albida*, *Ceiba pentandra*, *Piliostigma thonningii*, *Borassus akeassii*, *Elaeis guineensis* et *Parkia biglobosa*. Le deuxième groupe (bas-fonds cultivés et bas-fonds non cultivés) sont majoritairement formés d'espèces telles que *Neocarya macrophylla*, *Azadirachta indica*, *Adansonia digitata* et *Acacia nilotica*. Enfin, les espèces ligneuses *Conocarpus erectus* et *Rhizophora racemosa* sont rencontrées dans le troisième groupe (tannes).

Tableau 6: Matrice de dissimilarité entre les différents types d'occupation dans les deux sites.

		Bas-fond non cultivé	Plateau	Tanne
Essyl	Plateau	0.883914		
	Tanne	0.925287	0.993007	
	Bas-fond cultivé	0.582160	0.834739	0.985149
Selecky	Plateau	0.969432		
	Bas-fond cultivé	0.920000	0.929461	

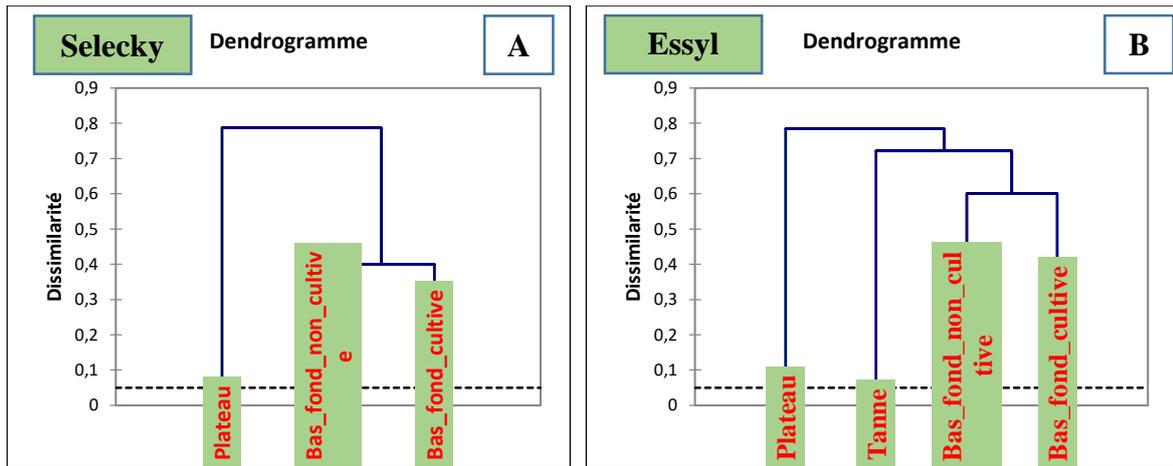
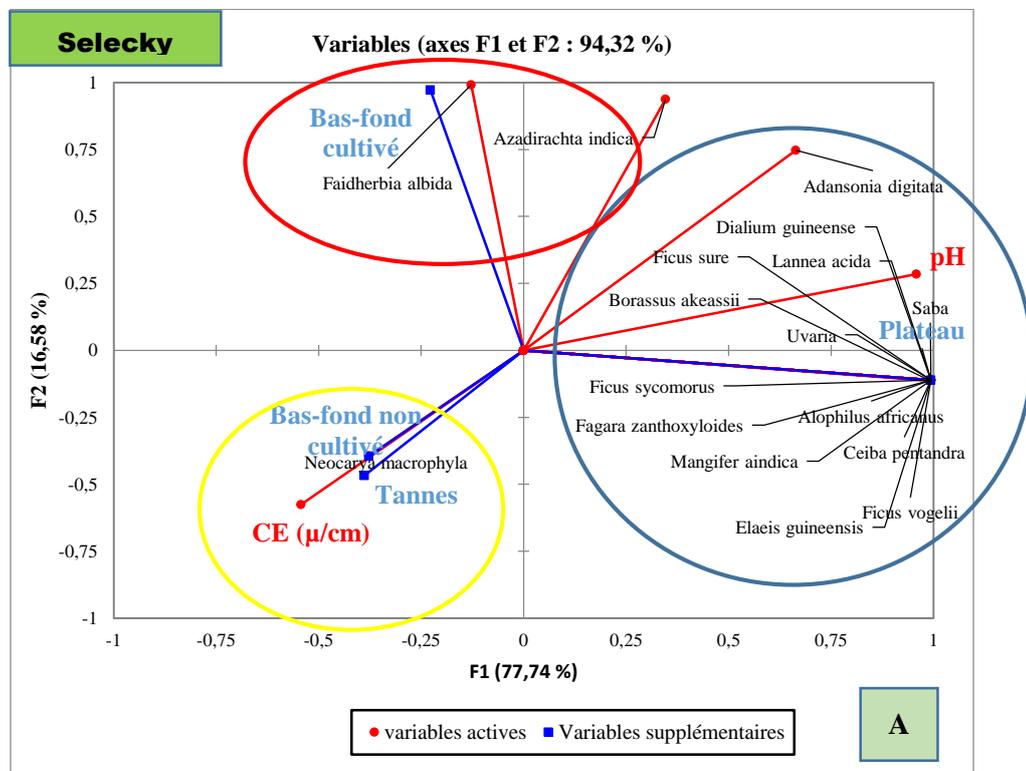


Figure 15: Dendrogramme des groupes pour les sites de Selecky (A) et Essyl (B)



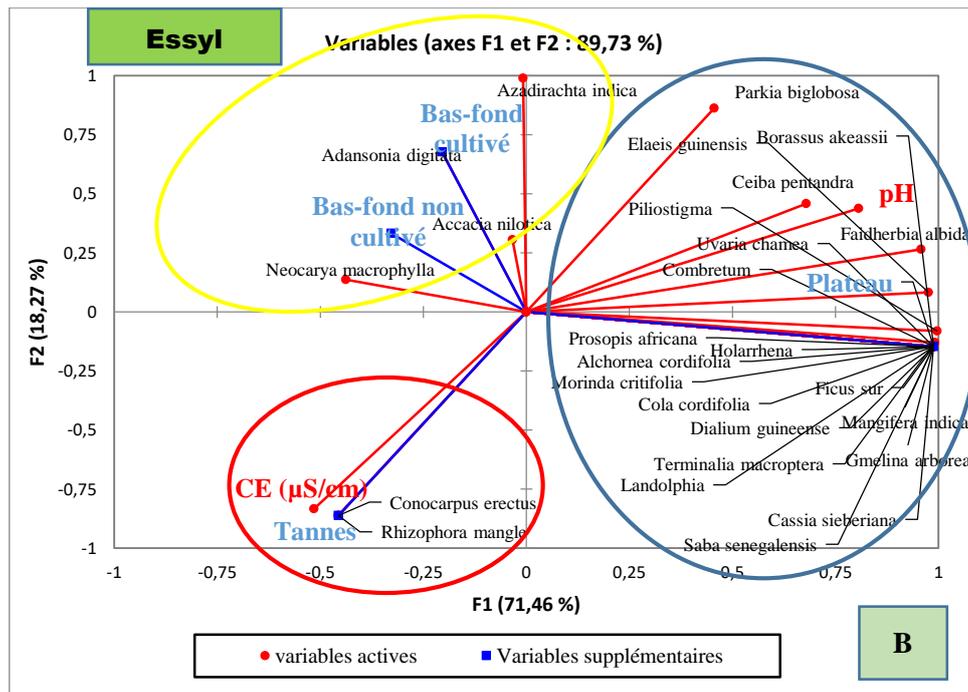


Figure 16: Analyse en composantes principales basée sur toutes les variables explicatives pour les sites de Selecky(A) et Essyl (B).

3.3.4. Structure de la végétation ligneuse

3.3.4.1. Structure par centre de classes de diamètre

L'analyse a montré que les individus de diamètre compris entre 10 et 40 cm sont les mieux représentés dans tous les sites et types d'occupation (Figure 17). Toutefois, le peuplement diffère selon les sites et types d'occupation. A Essyl, dans les bas-fonds non cultivés le peuplement à une structure en forme de « J renversé » avec un paramètre de forme ($c < 1$). Cette structure est caractéristique des peuplements multi spécifiques ou inéquiens. Contrairement en zone de bas-fond non cultivé, les types d'occupations du sol (tannes, bas-fond cultivé et plateau) ont une structure asymétrique positive ou asymétrique droite. Leurs paramètres de forme varient entre 1,056 et 3,405. Les valeurs de ces paramètres de forme (c) sont comprises dans l'intervalle] 1-3,6]. Ces derniers sont caractéristiques des peuplements mono-spécifiques avec prédominance d'individus jeunes ou de faible diamètre.

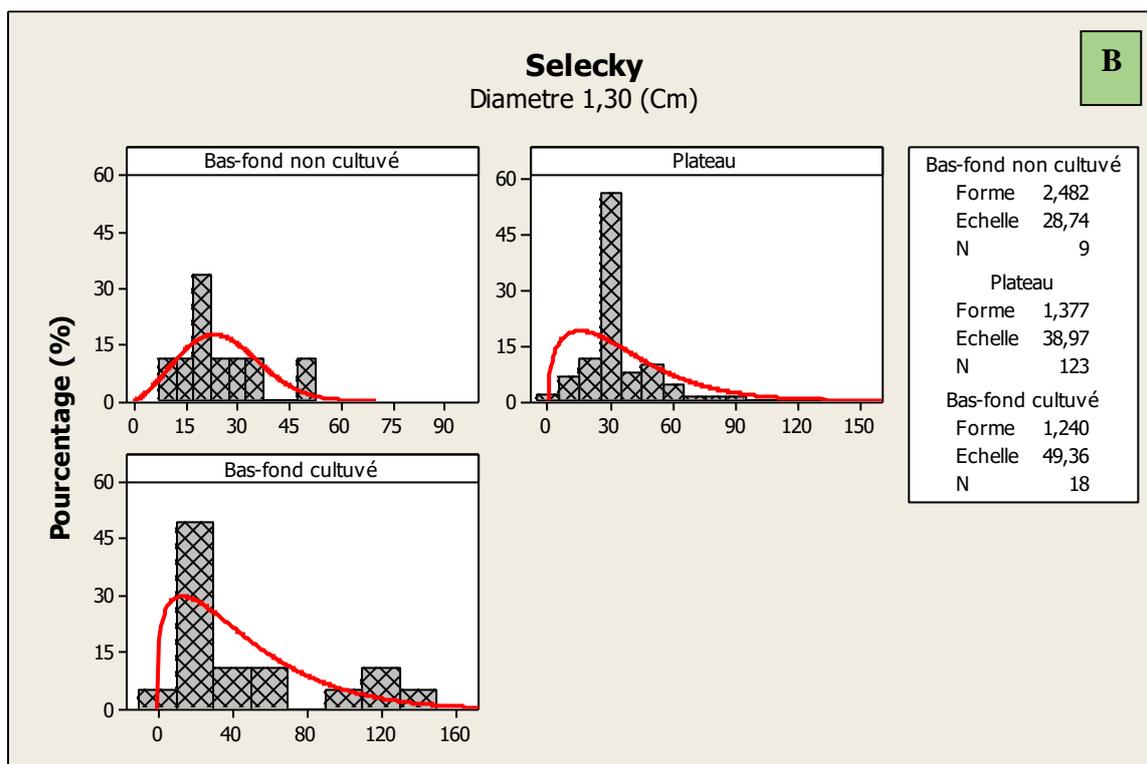
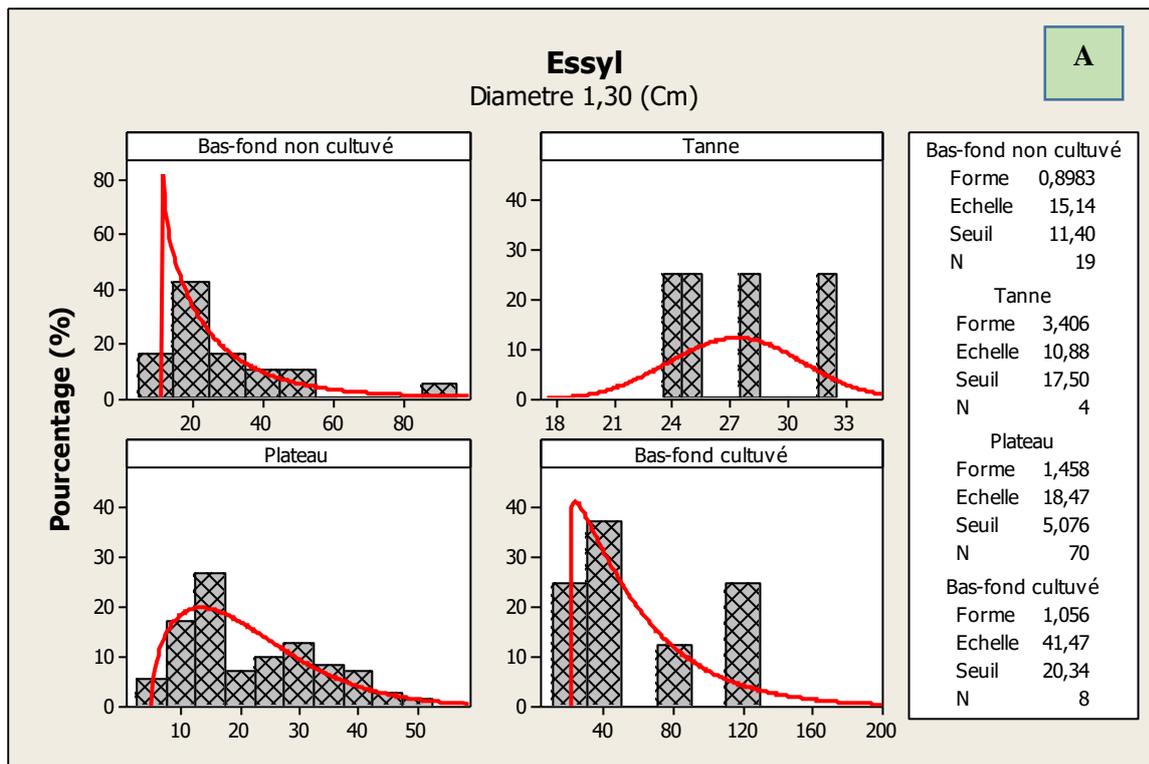
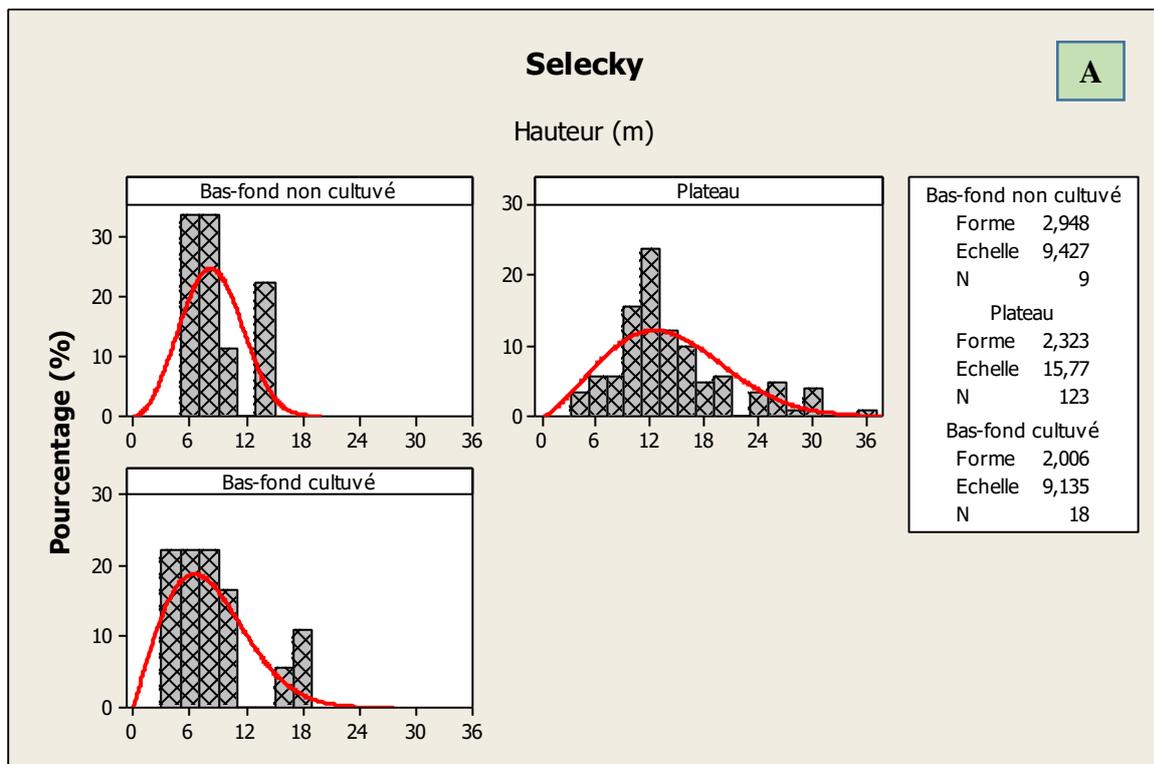


Figure 17: Distribution des individus du peuplement ligneux des différents types d'occupation par centre de classe de diamètre dans les sites d'Essyl (A) et de Selecky (B) avec surimposition de la distribution de Weibull

3.3.4.2. Structure par centre de classes de hauteur

L'analyse a montré que dans les deux sites, les individus de petite taille (hauteur comprise entre 4 et 8 m) sont les mieux représentés (Figure 18). A Selecky, les individus de taille comprise entre 6 à 12 m sont les mieux représentés avec 35% et 23% dans les bas-fonds non cultivés et les bas-fonds cultivés. Par contre dans les plateaux, les individus ayant une hauteur comprise entre 10 et 12 m sont mieux représentés (21%). A Essyl, ce sont les centres de classe de hauteur 4,6 et 15 m qui sont les plus représentés avec 30%,25%, 48% et 24% des individus du peuplement respectivement dans les bas-fonds non cultivés, les plateaux, les tannes et les bas-fonds cultivés. Leurs paramètres de forme varient entre 1,972 et 3,311. Les valeurs de ces paramètres de forme (c) sont comprises dans l'intervalle] 1-3,6]. Ces derniers sont caractéristiques des peuplements mono-spécifiques avec prédominance d'individus jeunes ou de faible hauteur.



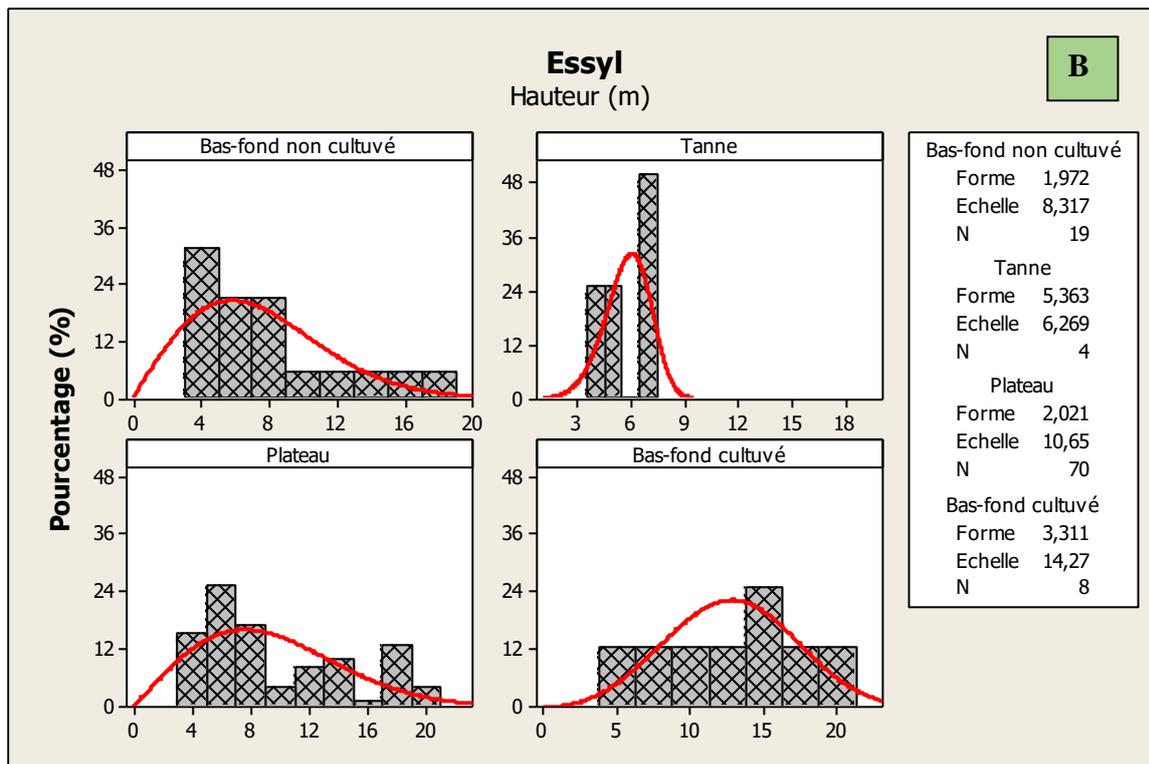


Figure 18: Distribution des individus du peuplement ligneux des différents types d'occupation par centre de classe de hauteur dans les sites de Selecky (A) et d'Essyl (B) avec surimposition de la distribution de Weibull

3.3.5. Influence de facteurs environnementaux (pH, CE et types d'occupation du sol) sur les paramètres de la végétation ligneuse

La densité, l'indice de Shannon et l'abondance des espèces végétales sont significativement influencés par les types d'occupation (Tableau 7). A Essyl, ces paramètres sont significativement plus importants au niveau des plateaux ($p < 0,05$). Ce même constat a été noté à Selecky. La salinité du sol et le pH ont significativement influencé l'indice de Menhinick et de Shannon à Essyl, l'abondance et la densité à Selecky. La pente négative indique que les paramètres de la végétation diminuent avec l'augmentation de la salinité. Enfin, le pH du sol a influencé positivement la densité et l'abondance des espèces dans les deux sites.

Tableau 7: Analyse de régression de l'influence des classes de paysage du pH et de la CE sur la composition, la structure et la distribution de la végétation

Sites	Variabes	Variabes explicatives	Estimate	Std-error	T-value	Pr(> t)	R2
Essyl	Abondance	PT	31,68	9,665	3,278	0,00265**	57,56
		pH	2,67	4,70	0,569	0,57	57,56
		CE	-0,0044	0,0043	-1,020	0,315	57,56
	Densité	PT	7,50E-02	1,07E-02	7,022	8,36e-8***	77,1
		pH	1,35 ^e -03	5,19 ^e -03	0,261	0,796	77,1
		CE	4,180 ^e -07	4,77e-06	0,088	0,931	77,1
	Indice de Menhinick	T	-1.598e-01	5.478e-01	-0.292	0.77277	52,1
		pH	-1.284e-01	9.345e-02	-1.374	0.18068	52,1
		CE	-9.253e-06	8.699e-05	-0.106	0.91608	52,1
	Shannon	T	-5,89 ^e -01	5,508 ^e -1	-1,053	0,301	52,32
		PT	4,51 ^e -01	1,95 ^e -01	2,311	0,028 *	52,32
		pH	-1,584 ^e -01	9,39 ^e -02	-1,686	0,1032	52,32
CE		-1,151 ^e -05	8,74 ^e -05	-0,132	0,89	52,32	
Selecky	Abondance	PT	15,73	4,91E+00	3,201	0,00323**	49,71
		pH	-4,528	3,58	-1,262	0,216	49,71
		CE	-0,00077	0,0017	-0,454	0,652	49,71
	Densité	PT	2,41E-02	6,33E-03	3,804	0,000652***	58,91
		pH	-5,249 ^e -03	4,619 ^e -03	-1,136	0,264	58,91
		CE	-6,531 ^e -07	2,189 ^e -06	-0,298	0,7675	58,91

* Différence significative ; ** différence hautement significative ; *** différence très hautement significative

3.4. Discussion

3.4.1. Composition floristique et diversité des espèces ligneuses

Dans l'ensemble des deux sites d'étude, 33 espèces ligneuses ont été rencontrées. Ces espèces appartiennent à 31 genres relevant de 18 familles botaniques. Les familles les plus représentées sont les *Fabaceae*, les *Apocynaceae* et les *Combretaceae*. Ces résultats corroborent ceux de Coly et al., (2005) qui ont obtenu 35 espèces au niveau des champs du bassin versant de la Nema, dans le Niombato au Saloum. Cependant la zone est moyennement riche en espèces. Les espèces végétales sont plus représentées dans les plateaux et plus faibles dans les bas-fonds non cultivés, les bas-fonds cultivés et les tannes. Ainsi cette dominance des espèces dans les

plateaux pourrait être dû au fait que dans cette zone les espèces sont majoritairement conservées. Cependant leur faible présence dans les bas-fonds cultivés et au niveau des bas-fonds non cultivés serait due, d'une part au fait que ces zones sont destinées à la riziculture, et les producteurs ont tendance à éliminer certaines espèces au détriment d'autres, et d'autre part, du fait de la présence importante de sel dans ces zones. Cette tendance est générale en zone soudano-sahélienne où les bas-fonds non cultivés connaissent, ces dernières décennies, une exploitation agricole intense en raison de la fertilité des sols et de leur caractère hydromorphe (Souberou et *al.*, 2017; Talla et *al.*, 2020). L'exploitation des bas-fonds non cultivés constitue l'une des stratégies d'adaptation des agriculteurs au changement climatique. Ce qui explique une faible richesse dans cette zone. Les résultats obtenus sur la répartition en classe en fonction de leur fréquence et de leur contribution spécifique sont en conformité avec celles observées par Arshad (2003) sur la distribution de la végétation en fonction des facteurs édaphiques dans le désert du Cholistan (Pakistan). Les indices de diversité (Shannon et Menhinick) viennent confirmer la faible richesse dans cette zone et suivant les types d'occupation. Ces indices sont plus importants dans les plateaux. Cependant ils sont plus faibles au niveau des bas-fonds cultivés, des bas-fonds non cultivés et surtout dans les tannes. Ces faibles indices notés dans les bas-fonds non cultivés et dans les tannes seraient dus à l'effet négatif du sel sur la végétation ligneuse. Ces résultats sont en phase avec les travaux de Amar et *al.*, (2022) qui ont noté un effet dépressif de la salinité sur la diversité floristique. Ces auteurs ont noté les plus faibles nombres d'espèces dans les zones les plus salées. Ainsi une dissemblance de la diversité floristique en fonction du gradient de salinité a été aussi signalée par ces auteurs.

3.4.2. Effet des caractéristiques physique du sol sur la composition des espèces ligneuse

Pour les paramètres du sol (pH et salinité), les tannes ont enregistré les valeurs de salinité les plus importantes et les pH les plus acides respectivement ($6479,75 \mu\text{.cm}^{-1}$; 4,25). Ces paramètres ont influencé négativement la diversité spécifique du peuplement. Celle-ci montre une forte relation entre la végétation ligneuse et les paramètres du sol. Les travaux de Jafari et *al.* (2004) sur les relations végétation - sol dans la région de Hoz-e-Soltan (Iran) ont révélé l'existence d'une relation spécifique entre les caractéristiques du sol et la distribution de la végétation. Dans notre étude, nous avons ciblé la salinité et le pH comme variables. Celle-ci a été adoptée par plusieurs auteurs afin de voir les relations entre les caractéristiques des sols et la végétation halophyte (Caballero et *al.*, 1994 ; Ahmad, 1995, Li et *al.*, 2008 ; Thiam et *al.*, 2015). Ces auteurs ont constaté que la distribution de la végétation dans une région donnée est fonction de la salinité du sol. Abu-Ziada (1980) a pu démontrer une forte relation de la distribution de la végétation avec la salinité et l'humidité dans le sol.

3.4.3. Effet des types d'occupation du sol sur la structure des espèces ligneuses

Par rapport à la structure du peuplement, les analyses ont montré que la commune d'Enampore est caractérisée par des individus de petite taille avec une hauteur comprise entre 2 et 8 m et des diamètres variant de 5 à 50 cm. Les individus de diamètre supérieur à 50 cm sont faiblement représentés dans les deux sites et pour l'ensemble des types d'occupation. Ces résultats ne sont pas en phase avec les travaux de Coly *et al.*, (2020) qui ont trouvé une prédominance d'individus de diamètre comprise (entre 5 et 25 cm). Toutefois, le peuplement des individus n'est pas équilibré dans l'ensemble des sites et types d'occupation avec des structures en « J renversé » et asymétrique positive ou asymétrique droite caractéristique des peuplements multi spécifiques ou inéquiens et des peuplements monospécifiques avec prédominance d'individus jeunes ou de faible diamètre. Ces résultats ne sont pas en phase avec ceux trouvés par Kebenzikato *et al.*, (2014) dans un parc à *Adansonia digitata* au Togo et de Ali *et al.*, (2017) dans le parc *Diospyros mespiliformis* dans le centre du Niger.

3.5. Conclusion

L'étude de la diversité et de la structure des espèces ligneuses dans la commune d'Enampore a contribué à la compréhension de leur distribution suivant les types d'occupation du sol. Les résultats de cette étude ont montré que la flore est composée de 33 espèces, répartis en 31 genres et 18 familles. Les indices de Shannon-Weaver indiquent une diversité généralement faible. La diversité des espèces est fonction des types d'occupation du sol. Les types d'occupation ont une influence notable sur la distribution et la structure des espèces ligneuses. Les plateaux, compte tenu de leur pH et électro-conductivité (EC) élevés, ont enregistré la plus grande diversité spécifique. Par contre, la salinité importante notée dans les tannes, dans les bas-fonds non cultivés et dans les bas-fonds cultivés a eu des effets négatifs sur la diversité et la densité des arbres. Dans ces différentes zones, peu d'espèces ligneuses sont conservées par les producteurs ; ces zones sont en général destinées à la riziculture. Toute réduction de la surface forestière est susceptible de réduire la diversité des arbres. Les arbres peuvent être utilisés comme stratégie de lutte face à la salinisation des sols. Aussi, les producteurs devraient conserver et restaurer la fertilité des sols par l'utilisation d'arbres mais aussi avec l'apport d'amendements organiques disponibles.

CHAPITRE 4 : EFFETS DE L'INOCULATION ET DES AMENDEMENTS ORGANIQUES (BIOCHAR ET COMPOST) SUR LA CROISSANCE ET LA PRODUCTION DU RIZ EN MILIEU SALIN

Ce chapitre a fait l'objet d'un poster présenté lors du 19^{ième} congrès de l'association africaine pour la fixation biologique de l'Azote sur le thème « *Fixation biologique de l'azote et biofertilisation : des outils agroécologiques pour le développement durable et la sécurité alimentaire dans le contexte du changement climatique* » tenue à Dakar du 29 Novembre au 1 Décembre 2022.

Résumé

L'objectif de cette étude conduite en milieu semi-contrôlé était de caractériser l'effet combiné de *Glomus mosseae* et des amendements organiques sur le développement des plants de riz soumis à deux niveaux de salinité. Pour ce faire, un dispositif expérimental en bloc de Fisher à trois facteurs a été mis en place : doses de sel (NaCl), champignons mycorhiziens (G1) et amendements organiques avec le compost (C) et le biochar (B). Les paramètres étudiés ont porté sur le taux de survie des plants, les paramètres agro-morphologiques du riz, la fréquence et l'intensité de mycorhization des plants de riz. Les résultats ont révélé que le taux de survie des plants est négativement affecté par la dose de NaCl la plus élevée (5,4 dS.m⁻¹). Toutefois, quelles que soient les doses de sel appliquées, les traitements : C, C+G1, B+C+G1 et B+C ont abouti à de meilleurs taux de survie, respectivement de 98,42% ; 100% ; 100% et 97,11%. Tous les traitements avec le compost ont également augmenté significativement les hauteurs, le nombre de talles, les biomasses aériennes et racinaires quelle que soit la dose de sel (P<0,05). Quant à la mycorhization, elle a été plus importante pour les plantes ayant été inoculées avec le champignon seul à la dose de NaCl de 5,4 dS.m⁻¹ avec une fréquence de 80% et une intensité de 50%. L'apport de matières organiques seul s'est avéré beaucoup plus efficace. Les amendements pourraient être recommandés pour les rizières affectées par la salinité et contribueraient à une meilleure production agricole dans le contexte de lutte contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté.

Mots clés : *Glomus mosseae*, salinité, amendements organiques, biochar, riz

Abstract

The objective of this semi-controlled study was to evaluate the combined effect of *Glomus mosseae* and organic amendments on the development of rice plants under two levels of salinity. To do this, a three-factor Fisher block design was set up (salinity doses, organic amendments and mycorrhizal fungi). The parameters studied were seedling survival rate, rice agromorphological parameters, and the frequency and intensity of mycorrhization of rice plants. The results revealed that plant survival was negatively affected by the highest salt dose (5.4 dS.m⁻¹). However, regardless of the salt dose applied, the compost, C+G1 (fungus+compost), B+C+G1 (Biochar+compost+fungus) and B+C (Biochar+compost) treatments resulted in better survival rates of 98.42%; 100%; 100% and 97.11%, respectively. The compost treatment also increased heights, number of tillers and above-ground and root biomass regardless of salt dose. As for mycorrhization, plants receiving the fungus alone had a higher frequency (80%) and intensity (50%) for the highest salt dose (5.4 dS.m⁻¹). Given the similar effect of fungus+C+B and organic amendments alone (B+C) on production parameters, so for better sustainability of rice cultivation, the use of organic amendments alone is more effective and requires use in salt-affected rice fields. These amendments would contribute to agricultural development by combating food insecurity and poverty.

Keywords: *Glomus mosseae*, salinity, organic amendments, biochar, rice

4.1. Introduction

Le riz occupe une place de choix dans les habitudes de consommation des populations sénégalaises. De plus, l'accroissement démographique et l'urbanisation croissante ont augmenté significativement les besoins de consommation de cette denrée. Au Sénégal, bien que le riz soit cultivé localement, les importations de riz sont massives et ont atteint une valeur nette de 189, 27 milliards FCFA en 2016 soit 966 498 tonnes importées (NACE, 2016). Deux systèmes de cultures du riz sont adoptés au Sénégal : sous périmètre irrigué qui assure jusqu'à 60% de la production et sous régime pluvial qui est largement pratiqué dans les zones centre, sud et sud-est du pays (ANSD, 2013 ; Fall, 2016). En Casamance, la riziculture pluviale est la principale activité exercée durant l'hivernage par les producteurs. Cependant cette riziculture est confrontée à plusieurs contraintes y incluses les contraintes climatiques qui causent une diminution du rendement des cultures et aussi l'abandon des parcelles par les producteurs. Parmi ces contraintes, la salinisation des rizières occupe une place importante. Selon Barnawal et *al.*, (2014), la salinisation entraîne une dégradation des propriétés biologiques, chimiques et physiques des sols, causant ainsi une baisse de la fertilité des sols, des rendements et du couvert végétal. Au Sénégal, les terres salées couvrent une superficie de 1 700 000 ha sur les 3 800 000 ha de terres arables (LADA, 2009). Plusieurs stratégies ont été développées pour faire face à ce fléau. Ces stratégies sont entre autres la confection de diguettes et de digues anti-sel, l'apport d'amendements organiques (coque d'arachide, fumier, ordures ménagères), d'amendements chimiques, (phosphogypse), et le reboisement avec des espèces forestières adaptées à la salinité... Malgré tous les efforts déployés par la population, la salinisation de ces terres ne cesse de prendre de l'ampleur. Ainsi, d'autres approches comme l'inoculation des cultures avec les champignons mycorhiziens pourrait être considérée dans l'amélioration de la production du riz dans les bas-fonds salés (Diatta et *al.*, 2013, Diallo et *al.*, 2016). Ces champignons forment une association symbiotique avec près de 80% des espèces végétales (Garbaye, 2013). Cette association se traduit par une amélioration de l'absorption des éléments minéraux, en particulier le phosphore et l'azote (Diatta et *al.*, 2013 ; Haro et *al.*, 2015 ; Manga et *al.*, 2017), une résistance et une tolérance accrue vis-à-vis de nombreux stress abiotiques et biotiques et d'agents pathogènes tout en favorisant une meilleure absorption de l'eau par temps sec et, *in fine*, une meilleure croissance des plantes (Diouf et *al.*, 2010, Hamza, 2014). L'inoculation des cultures avec les champignons mycorhiziens pourrait être combinée aux amendements organiques. Ces derniers permettent une restauration durable de la fertilité des sols salés aboutissant ainsi à une bonne productivité des plantes (Choudhary et *al.*, 2004 ; Wong et *al.*, 2009, Diatta et *al.*, 2019). Une gestion intégrée associant les amendements organiques avec

l'utilisation de champignons mycorhiziens dans les rizières affectées par la salinité pourrait être très promotrice. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qui vise à caractériser l'effet de l'inoculation mycorhizienne en combinaison avec l'apport d'amendements organiques sur la croissance et la production du riz en milieu salé.

4.2. Matériel et Méthodes

4.2.1. Matériel végétal, amendements organiques et champignons

La variété WAR77 du genre *Oryza* a été utilisée comme matériel végétal ; le groupe variétal du riz est *indica*. Il s'agit d'une variété adaptée aux bas-fonds et résistante à la salinité. Pour les amendements organiques, le biochar (B) et le compost d'anacarde (C) ont été utilisés. Le biochar a été collecté chez les vendeurs de charbon et présente un pH de 6,4. Le compost est issu de pommes d'anacarde pressées et laissées à décomposer en tas pendant au moins 12 mois ; le pH est de 4,1. Pour le champignon, nous avons utilisé le *Glomus mosseae* (G1, 1000-2000 propagules pour les 100g de sol). Ce champignon a été fourni par le laboratoire commun de microbiologie des sols du Sénégal.

4.2.2. Dispositif expérimental et conduite de l'essai

Un bloc de Fisher à trois facteurs a été utilisé pour cette expérimentation. Les facteurs étudiés sont le champignon avec 2 modalités (*Glomus mosseae* et *Sans Glomus mosseae*), les amendements organiques avec 4 modalités (Compost, Biochar, Compost + Biochar et le Témoin) et la concentration de sel avec 3 modalités (0 dS.m^{-1} , $2,7 \text{ dS.m}^{-1}$ et $5,4 \text{ dS.m}^{-1}$) et qui correspond aux quantités de sel respectives de 0 ; 1,6875 et 3,375 g/l de NaCl. Pour chaque niveau de salinité, nous avons $2 \times 4 = 8$ traitements, d'où un total de 24 traitements pour les 3 niveaux de sel et répétés 3 fois. Pour chaque traitement, 6 gaines de dimension 20x25 cm, contenant un mélange de sable tamisé et/ou d'amendement organique dans des proportions de 2/3 d'amendement et 1/3 de sable selon les traitements ont été utilisées (figure 19). Pour la mycorhization, les graines de riz ont été inoculées pendant le semis avec la souche de champignons de *Glomus mosseae* à raison de 10 g d'inoculum par graine. Quatre graines ont été semées et un démariage progressif a été fait après levée ; un seul plant a été conservé. L'arrosage a été effectué chaque jour à raison de 200 ml d'eau par gaine. Afin de faciliter la mycorhization des plants, les différentes doses de NaCl ont été apportées à 21 jours après semis (JAS).

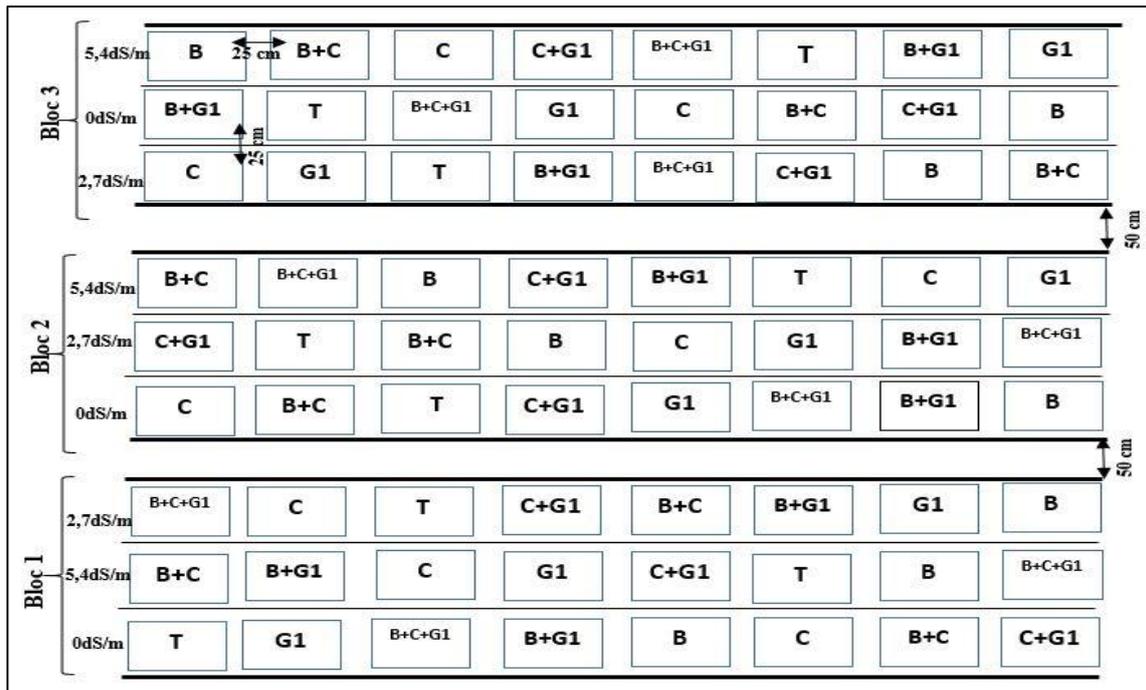


Figure 19: Dispositif expérimental

Légendes : B= biochar ; C= compost ; T= Témoin ; B+C =biochar et compost ; G1= *Glomus mosseae*

4.2.3. Collecte des données

Les données sur les paramètres agro morphologiques ont été collectées après l'apport de NaCl à 21 JAS, et par la suite tous les 15 Jours. Les mesures ont porté sur 6 plants par traitement pour l'ensemble des trois blocs. Quant à la biomasse végétale elle a été déterminée en faisant le cumul de la masse moyenne des plants par traitement après deux mois d'application du stress salin. Les biomasses collectées ont été pesées après séchage à l'étuve à 70°C pendant 72 h en utilisant une balance de précision de sensibilité 10^{-4} .

4.2.4. Fréquence et intensité de mycorhization

Ces paramètres ont été déterminés en utilisant la méthode de Phillips & Hayman, (1970). Cette méthode consiste tout d'abord à extraire les racines puis à procéder au lavage et enfin à réaliser leur coloration à l'aide d'une solution (le bleu de Trypan). La fréquence et l'intensité de mycorhization ont été évaluées sous microscope optique au grossissement 400 en utilisant la méthode de Trouvelot (1986). Six plants de riz ont été choisis après récolte pour chaque traitement donné. Pour le montage, nous avons choisi trois lames et sur chaque lame 20 fragments ont été monté entre lame et lamelle d'où un total de 60 fragments par traitement. Les formules suivantes ont été utilisées pour déterminer les deux paramètres :

$$\text{Fréquence \%} = \frac{\text{Nombre de fragments mycorhizés}}{\text{nombre total de fragments}} \times 100$$

$$\text{Intensité \%} = \frac{\text{Longueur des racines infectées}}{\text{longueur totale des racines}} \times 100$$

Indice de sensibilité relative au stress salin (ISRS)

L'indice de tolérance (IT) sera calculé selon la formule de (Cano et *al.*, 1998) :

$$\text{IT \%} = \frac{\text{BAS plant stressé}}{\text{BAS plant témoin}} \times 100$$

BAS = Biomasse Aérienne Sèche

Analyse statistique

Les données ont été analysées avec le logiciel XLSTAT 2014 version 5.03. Une ANOVA à trois facteurs a été utilisée pour analyser les données. Les moyennes ont par la suite été comparées en utilisant le test de Fisher LSD au seuil de probabilité de 5%.

4.3. Résultats

4.3.1. Taux de survie des plants à différentes doses de sels en fonction des amendements, des dates de mesure et suivant les années

Le taux de survie n'a pas été influencé significativement par les doses de NaCl aux dates 15 JAS et 30 JAS quel que soit le type d'amendement ($p=0,31$) (Tableau 8). Cependant une diminution du nombre de plants pour les deux années d'étude est obtenue aux 45^{ème} JAS et 60^{ème} JAS. Cette baisse varie avec la dose de NaCl mais également avec le type d'amendement utilisé. Les plants ayant reçu la dose de sel de 5,4 dS.m⁻¹ ont enregistré les taux de survie les plus faibles (87,77%) comparés aux témoins (98,01%). En ce qui concerne les amendements, quelle que soit la dose de NaCl appliquée, leur effet a été hautement significatif ($P=0,001$). Ainsi, les meilleurs taux de survie pour tout traitement avec le NaCl et suivant les deux années d'expérimentation ont été obtenus avec les traitements B+C (97,11%), C (98,42%), C+G1 (100%) et B+C+G1 (100%) (Tableau 8). Par contre les taux de survie les plus faibles sont obtenus avec les traitements biochar (77,76%), B+G1 (87,03%) et G1 (95,22) pour une même dose de NaCl comparés aux témoins.

Tableau 8: Taux de survie des plants à différentes doses de sel en fonction des traitements et des dates de mesure

	Biochar		Compost		B+C		Témoïn		Biochar + G1		Compost + G1		B+C+G1		G1	
	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2
(0 dS.m⁻¹) Témoïn																
Initiale	100 ^{a*}	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
15JAS	100 ^a	94,44 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
30JAS	88,86 ^b	94,44 ^a	100 ^a	100 ^a	93,35 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
45JAS	77,76 ^b	83,33 ^{ab}	100 ^a	100 ^a	93,35 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
60JAS	77,76 ^b	77,77 ^b	100 ^a	100 ^a	93,35 ^a	100 ^a	100 ^a	83,33 ^{ab}	100 ^a	83,33 ^{ab}	100 ^a	100 ^a				
Moyenne	88,87	89,99	100	100	96,01	100	100	96,66	100	96,66	100	100	100	100	100	100
2,7 dS.m⁻¹																
Initiale	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
15JAS	94,43 ^a	77,77 ^{bc}	100 ^a	100 ^a	100 ^a	94,44 ^a	100 ^a	94,44 ^a	94,43 ^a	94,44 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
30JAS	94,43 ^a	66,66 ^b	100 ^a	100 ^a	100 ^a	94,44 ^a	100 ^a	88,88 ^{ab}	94,43 ^a	77,77 ^b	100 ^a	100 ^a				
45JAS	94,43 ^a	38,88 ^{cd}	100 ^a	100 ^a	100 ^a	88,88 ^{ab}	86,73 ^{ab}	83,33 ^b	72,23 ^{bc}	77,77 ^b	100 ^a	100 ^a				
60JAS	77,76 ^{bc}	33,33 ^{cd}	100 ^a	100 ^a	100 ^a	88,88 ^{ab}	86,73 ^{ab}	72,22 ^{bc}	72,23 ^{bc}	72,22 ^{bc}	100 ^a	88,88 ^{ab}				
Moyenne	92,21	63,32	100	100	100	93,32	94,69	87,77	86,66	84,44	100	100	100	100	100	97,77
5,4 dS.m⁻¹																
Initiale	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
15JAS	81,16 ^{abcd}	83,33 ^b	91,65 ^{ab}	100 ^a	100 ^a	100 ^a	86,67 ^b	88,88 ^{ab}	88,66 ^{ab}	88,88 ^{ab}	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	85,01 ^{ab}	94,44 ^a
30JAS	81,16 ^{abcd}	44,44 ^c	91,65 ^{ab}	100 ^a	100 ^a	94,44 ^a	86,67 ^b	77,77 ^{bc}	88,66 ^{ab}	77,77 ^b	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	85,01 ^{ab}	83,33 ^{ab}
45JAS	57,75 ^c	33,33 ^{cd}	91,65 ^{ab}	100 ^a	100 ^a	88,88 ^{ab}	81,1 ^{ab}	66,66 ^b	61,1 ^c	72,22 ^{bc}	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	85,01 ^{ab}	83,33 ^{ab}
60JAS	57,75 ^c	22,22 ^d	77,76 ^b	100 ^a	100 ^a	83,33 ^{ab}	81,1 ^{ab}	33,33 ^{cd}	61,1 ^c	33,33 ^{cd}	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	85,01 ^{ab}	66,66 ^b
Moyenne	75,56	56,66	90,54	100	100	93,33	87,1	73,32	79,9	74,44	100	100	100	100	88	85,55

*Les valeurs sur une même colonne pour une même date présentant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes (Test de Fisher LSD, seuil 5%). G1=Champignon, B=biochar et C=compost

4.3.2. Variation de la hauteur des plants à différentes doses de sel en fonction des traitements

Nous notons globalement que les hauteurs des plants ont augmenté significativement ($p=0,0001$) suivant les dates pour l'ensemble des doses de sel (Témoin, 2,7 dS.m⁻¹ et 5,4 dS.m⁻¹) appliqués (Figure 20a, 20b et 20c) pour la 1^{ère} et 2^{ème} année d'expérimentation. Pour une même date, les hauteurs enregistrées en 1^{ère} année sont significativement plus importantes ($p<0,05$) que celles enregistrées en 2^{ème} année d'expérimentation (Tableau 9). Certains amendements organiques ont influencé positivement la croissance des plants ($p<0,0001$). En effet, les hauteurs les plus importantes pour les deux années et pour l'ensemble des dates comparées aux témoins quelle que soit la dose de sel appliquée ont été obtenues avec les traitements Compost (50,94 cm), Compost+G1 (51,56 cm), B+C+G1 (49,92 cm) et B+C (48,89 cm) (tableau 9). Les hauteurs les plus faibles sont obtenues avec les amendements au biochar (28,71 cm), biochar+G1 (25,75 cm) et G1 (35,73 cm) pour les deux années.

4.3.3. Variation du nombre de talles à différentes doses de NaCl en fonction des traitements

L'analyse des données nous a révélé une variation similaire des plants en fonction des différentes doses de sel appliquées. En effet nous notons une augmentation du nombre de talles des plants de riz avant l'application du stress salin jusqu'aux 45 jours après application du stress salin pour l'ensemble des doses de NaCl et des traitements utilisés. A partir du 45 Jours après application du stress salin, nous notons une diminution du nombre de talles pour l'ensemble des traitements et des doses de sel appliquées (figure 21a, 21b et 21c). Cette même tendance a été observée en 1^{ère} et 2^{ème} année d'expérimentation. L'analyse du tableau 10 nous a montré qu'il existe une différence hautement significative entre les amendements organiques utilisés quelle que soit la dose de NaCl, les dates considérées et les années d'expérimentation ($p<0,0001$). En effet les nombres de talles les plus importants sont obtenus avec les amendements organiques compost (16 talles), compost+G1 (15 talles), B+C+G1 (12 talles) et B+C (12 talles) quelle que soit la dose de NaCl apportée. Par contre les talles les plus faibles sont obtenues avec les amendements organiques tels que le biochar (2 talles), biochar+G1 (2 talles) et G1 (4 talles) aussi bien en 1^{ère} année qu'en 2^{ème} année d'expérimentation (tableau 10).

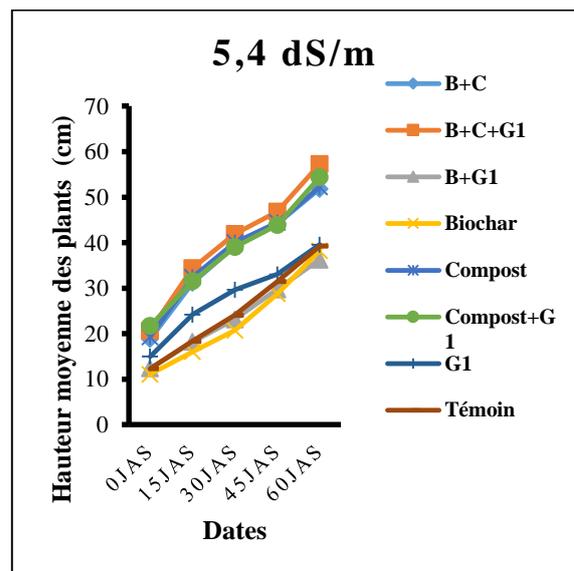
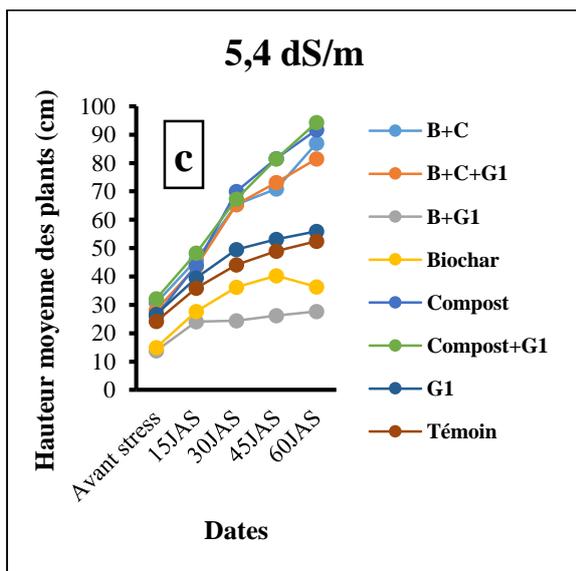
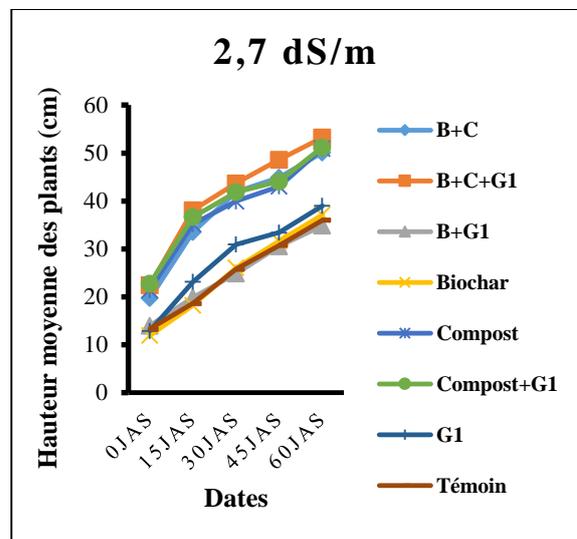
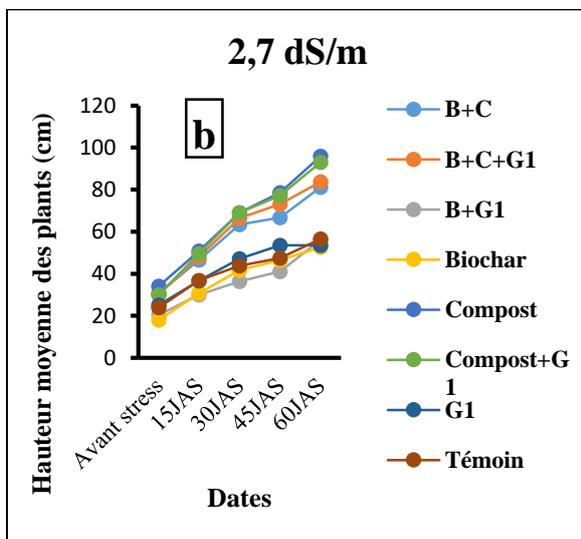
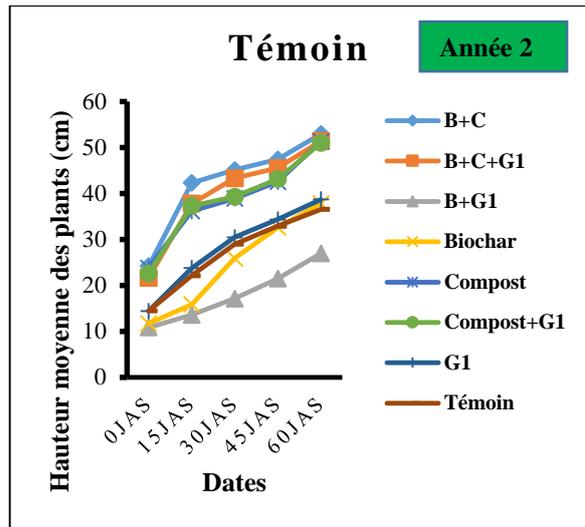
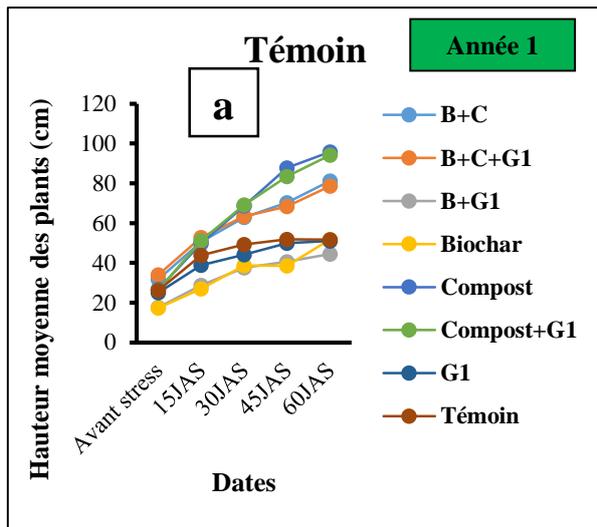


Figure 20: Effet des amendements organiques associé au CMA sur l'accroissement moyen en hauteur des plants en condition de stress salin : a ($0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), b ($2,7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) et c ($5,4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$)

Tableau 9: Hauteur moyenne des plants en fonction des traitements et des dates de mesure suivant différentes doses de NaCl

	Biochar		Compost		B+C		Témoïn		Biochar + G1		Compost + G1		B+C+G1		G1	
	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2
(0 dS.m⁻¹) Témoïn																
Initiale	17,38 ^{e*}	11,71 ^e	26,77 ^e	23,8 ^e	31,8 ^{de}	24,16 ^e	26,19 ^e	14,45 ^e	17,6 ^e	10,81 ^e	26,41 ^e	22,57 ^e	34,11 ^{de}	21,63 ^e	25,1 ^e	14,4 ^e
15JAS	27 ^e	15,81 ^e	49,78 ^{bc}	36,15 ^{de}	50,49 ^{bc}	42,31 ^{bcd}	43,88 ^{bcd}	22,12 ^e	28,72 ^e	13,57 ^e	51,18 ^{bc}	37,3 ^{de}	52,77 ^{bc}	37,78 ^{de}	38,8 ^{de}	23,74 ^{de}
30JAS	38,46 ^{de}	25,88 ^e	68,76 ^{ab}	38,92 ^{de}	63 ^{ab}	45,12 ^{bcd}	49,22 ^{bc}	28,98 ^e	37,49 ^{cd}	17,12 ^e	69,19 ^{ab}	39,27 ^{cd}	63,44 ^{ab}	43,30 ^{bcd}	44,12 ^{bcd}	30,45 ^{de}
45JAS	38,66 ^{de}	32,59 ^{de}	87,82 ^a	42,53 ^{bcd}	70,38 ^{ab}	47,41 ^{bcd}	51,66 ^{bc}	32,88 ^{de}	40,55 ^{cd}	21,26 ^e	83,44 ^a	43,13 ^{bcd}	68,38 ^{ab}	45,53 ^{bcd}	49,93 ^{bc}	34,34 ^{de}
60JAS	51,86 ^{bc}	37,79 ^{de}	95,85 ^a	51,31 ^{bc}	81,23 ^a	52,92 ^{bc}	51,86 ^{bc}	36,5 ^{de}	44,49 ^{bcd}	26,96 ^e	94,2 ^a	51 ^{bc}	78,72 ^a	51,42 ^{bc}	51,03 ^{bc}	38,67 ^{ede}
Moyenne	34,67	24,75	65,79	38,54	59,38	42,38	44,56	26,98	33,77	17,94	64,88	38,65	59,48	39,93	41,79	28,32
2,7 dS.m⁻¹																
Initiale	17,92 ^e	11,93 ^e	34,07 ^{de}	21,44 ^e	30,80 ^{de}	19,72 ^e	23,87 ^e	13,31 ^e	20,38 ^e	13,96 ^e	29,93 ^{de}	22,77 ^e	30,33 ^{de}	22,42 ^e	25,06 ^e	12,91 ^e
15JAS	30,77 ^{de}	18,22 ^e	50,79 ^{bc}	35,20 ^{de}	46,55 ^{bcd}	33,53 ^{de}	36,8 ^{de}	18,63 ^e	30,01 ^e	19,86 ^e	49,51 ^{bc}	36,67 ^{de}	48,05 ^{bcd}	38,1 ^{cde}	36,74 ^{cde}	23,15 ^e
30JAS	32,66 ^{de}	26,05 ^e	68,98 ^{ab}	39,97 ^{de}	63,33 ^{ab}	41,92 ^{bcd}	43,77 ^{bcd}	25,77 ^e	36,43 ^{cd}	24,87 ^e	68,98 ^{ab}	41,86 ^{bcd}	66,39 ^{ab}	43,70 ^{bcd}	47,1 ^{bcd}	30,93 ^{de}
45JAS	41,62 ^{bcd}	31,67 ^{de}	78,64 ^a	43,05 ^{bcd}	66,66 ^{ab}	44,92 ^{bcd}	47,5 ^{bc}	30,74 ^{de}	41,1 ^{bcd}	30,56 ^{de}	77,25 ^a	44,08 ^{bcd}	73,14 ^a	48,62 ^{bc}	53,49 ^{bc}	33,42 ^{de}
60JAS	46,46 ^{bc}	37,11 ^{de}	95,92 ^a	50,94 ^{bc}	81,21 ^a	50,11 ^{bc}	56,61 ^b	35,98 ^{de}	26,13 ^e	34,85 ^{de}	93 ^a	51,21 ^{bc}	83,77 ^a	53,25 ^{bc}	53,56 ^{bc}	38,98 ^{cd}
Moyenne	33,88	24,99	65,68	35,31	57,71	38,04	41,71	24,88	30,81	24,82	63,73	39,31	60,33	41,21	43,19	27,87
5,4 dS.m⁻¹																
Initiale	14,9 ^e	11,08 ^e	26,13 ^e	19,28 ^e	30,7 ^{de}	18,85 ^e	24,15 ^e	12,3 ^e	13,88 ^e	12,37 ^e	32,19 ^{de}	21,72 ^e	28,27 ^e	20,71 ^e	26,65 ^e	15 ^e
15JAS	27,66 ^e	16,03 ^e	43,98 ^{bcd}	32,42 ^{de}	45,83 ^{bcd}	31,17 ^{de}	35,92 ^{de}	18,38 ^e	24,1 ^e	18,20 ^e	48,27 ^{bc}	31,53 ^{de}	43,55 ^{bcd}	34,41 ^{de}	39,47 ^{cd}	24,2 ^e
30JAS	36,23 ^{de}	20,73 ^e	70,03 ^{ab}	40,03 ^{bcd}	65,38 ^{ab}	39,22 ^{cd}	44,08 ^{bcd}	24,07 ^e	24,46 ^e	23,14 ^e	67,3 ^{ab}	39,02 ^{cd}	65,38 ^{ab}	41,93 ^{bcd}	49,52 ^{bcd}	29,62 ^e
45JAS	36,32 ^{de}	28,73 ^e	81,55 ^a	44,45 ^{bcd}	70,83 ^{ab}	44,15 ^{bcd}	48,9 ^{bc}	31,46 ^{de}	26,2 ^e	29,73 ^e	81,44 ^a	43,88 ^{bcd}	73,16 ^{ab}	46,83 ^{bcd}	53,05 ^{bc}	33,06 ^{de}
60JAS	40,25 ^{bcd}	38,22 ^{cd}	91,7 ^a	52,22 ^{bc}	81,44 ^a	51,85 ^{bc}	52,42 ^{bc}	39,25 ^{cd}	27,7 ^e	36,28 ^{cd}	94,33 ^a	54,4 ^{bc}	81,44 ^a	57,28 ^b	55,91 ^b	39,58 ^{cd}
Moyenne	31,07	22,95	62,67	37,68	58,83	37,04	41,09	25,09	23,26	23,94	64,71	38,11	58,36	40,23	44,92	28,29

*Les valeurs sur une même colonne pour une même date présentant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes (Test de Fisher LSD, seuil 5%). G1=Champignon, B=biochar et C=compost

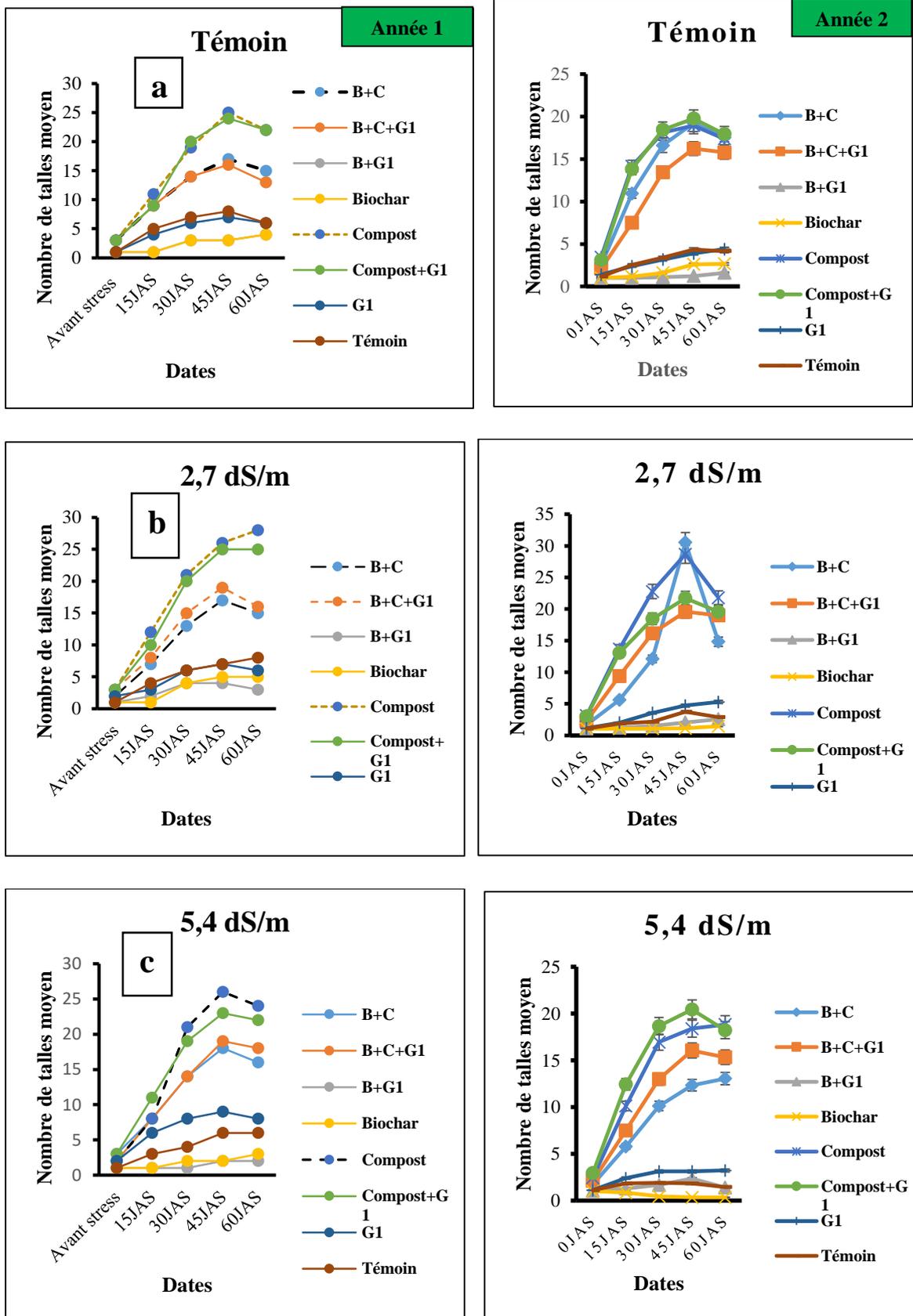


Figure 21: Effet des amendements organiques associé au CMA sur le nombre de talle des plants en condition de stress salin : a (0 dS.m^{-1}), b ($2,7 \text{ dS.m}^{-1}$) et c ($5,4 \text{ dS.m}^{-1}$)

Tableau 10: Nombre de talles en fonction des amendements organiques et suivant les dates de mesure et doses de NaCl

	Biochar		Compost		B+C		Témoïn		Biochar + G1		Compost + G1		B+C+G1		G1	
	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2
(0 dS.m⁻¹) Témoïn																
Initiale	1 ^{i*}	1 ⁱ	3 ^{hi}	3 ^{hi}	3 ^{hi}	3 ^{hi}	1 ⁱ	1 ⁱ	1 ⁱ	1 ⁱ	3 ^{hi}	3 ^{hi}	3 ^{hi}	2 ⁱ	1 ⁱ	1 ⁱ
15JAS	1 ⁱ	1 ⁱ	11 ^{ef}	14 ^{de}	9 ^{fg}	11 ^{ef}	5 ^{ghi}	3 ^{hi}	1 ⁱ	1 ⁱ	9 ^{fg}	14 ^{de}	9 ^{fg}	8 ^{fg}	4 ^{ghi}	2 ⁱ
30JAS	3 ^{hi}	2 ⁱ	19 ^{cd}	18 ^{cd}	14 ^{de}	17 ^{cd}	7 ^{gh}	3 ^{hi}	3 ^{hi}	1 ⁱ	20 ^{bc}	18 ^{cd}	14 ^{de}	13 ^{de}	6 ^{ghi}	3 ^{hi}
45JAS	3 ^{hi}	3 ^{hi}	25 ^{ab}	19 ^{cd}	17 ^{cd}	20 ^{bc}	8 ^{fg}	4 ^{ghi}	3 ^{hi}	1 ⁱ	24 ^{ab}	20 ^{bc}	16 ^{de}	16 ^{de}	7 ^{gh}	4 ^{ghi}
60JAS	4 ^{ghi}	3 ^{hi}	22 ^{bc}	17 ^{cd}	15 ^{de}	18 ^{cd}	6 ^{ghi}	4 ^{ghi}	4 ^{ghi}	2 ⁱ	22 ^{bc}	18 ^{cd}	13 ^{de}	16 ^{de}	6 ^{ghi}	3 ^{hi}
Moyenne	2	2	16	14	12	14	5	3	2	1	16	15	11	11	5	3
2,7 dS.m⁻¹																
Initiale	1 ⁱ	1 ⁱ	3 ^{hi}	3 ^{hi}	2 ⁱ	2 ⁱ	1 ⁱ	1 ⁱ	1 ⁱ	1 ⁱ	3 ^{hi}	3 ^{hi}	3 ^{hi}	2 ⁱ	2 ⁱ	1 ⁱ
15JAS	1 ⁱ	1 ⁱ	12 ^{ef}	14 ^{de}	7 ^{gh}	6 ^{ghi}	4 ^{ghi}	2 ⁱ	2 ⁱ	1 ⁱ	10 ^{ef}	13 ^{de}	8 ^{fg}	9 ^{fg}	3 ^{hi}	2 ⁱ
30JAS	4 ^{ghi}	1 ⁱ	21 ^{bc}	23 ^{ab}	13 ^{de}	12 ^{ef}	6 ^{ghi}	2 ⁱ	4 ^{ghi}	1 ⁱ	20 ^{bc}	18 ^{cd}	15 ^{de}	16 ^{de}	6 ^{ghi}	4 ^{ghi}
45JAS	5 ^{ghi}	1 ⁱ	26 ^{ab}	29 ^a	17 ^{cd}	30 ^a	7 ^{gh}	4 ^{ghi}	4 ^{ghi}	2 ⁱ	25 ^{ab}	22 ^{bc}	19 ^{cd}	20 ^{bc}	7 ^{gh}	5 ^{ghi}
60JAS	5 ^{ghi}	1 ⁱ	28 ^a	22 ^{bc}	15 ^{de}	15 ^{de}	8 ^{fg}	3 ^{hi}	3 ^{hi}	3 ^{hi}	25 ^{ab}	20 ^{bc}	16 ^{de}	19 ^{cd}	6 ^{ghi}	5 ^{ghi}
Moyenne	3	1	18	18	11	13	5	2	3	2	17	15	12	13	5	3
5,4 dS.m⁻¹																
Initiale	1 ⁱ	1 ⁱ	2 ⁱ	2 ⁱ	3 ^{hi}	2 ⁱ	1 ⁱ	1 ⁱ	1 ⁱ	1 ⁱ	3 ^{hi}	3 ^{hi}	2 ⁱ	2 ⁱ	2 ⁱ	1 ⁱ
15JAS	1 ⁱ	1 ⁱ	8 ^{fg}	10 ^{ef}	8 ^{fg}	6 ^{ghi}	3 ^{hi}	2 ⁱ	1 ⁱ	1 ⁱ	11 ^{ef}	12 ^{ef}	8 ^{fg}	8 ^{fg}	6 ^{ghi}	2 ⁱ
30JAS	2 ⁱ	1 ⁱ	21 ^{bc}	17 ^{cd}	14 ^{de}	10 ^{ef}	4 ^{ghi}	2 ⁱ	1 ⁱ	2 ⁱ	19 ^{cd}	19 ^{cd}	14 ^{de}	13 ^{de}	8 ^{fg}	3 ^{hi}
45JAS	2 ⁱ	1 ⁱ	26 ^{ab}	18 ^{cd}	18 ^{cd}	12 ^{ef}	6 ^{ghi}	2 ⁱ	2 ⁱ	2 ⁱ	23 ^{ab}	20 ^{cd}	19 ^{cd}	16 ^{de}	9 ^{fg}	3 ^{hi}
60JAS	3 ^{hi}	1 ⁱ	24 ^{ab}	19 ^{cd}	16 ^{de}	13 ^{de}	6 ^{ghi}	1 ⁱ	2 ⁱ	1 ⁱ	22 ^{bc}	18 ^{cd}	18 ^{cd}	15 ^{de}	8 ^{fg}	3 ^{hi}
Moyenne	2	2	16	13	12	9	4	2	1	1	16	14	12	11	7	2

*Les valeurs sur une même colonne pour une même date présentant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes (Test de Fisher LSD, seuil 5%). G1=Champignon, B=biochar et C=compost

4.3.4. Variation de la biomasse végétale sèche (aérienne et racinaire) des plants de riz en fonction des traitements

Les biomasses racinaires et totales sèches les plus importantes ont été obtenues avec les doses de NaCl 0 dS.m⁻¹ et 2,7 dS.m⁻¹ durant la 1^{ère} année (tableau 11).

Tableau 11: Biomasse végétale, biomasse aérienne, biomasse racinaire des plantes en fonction des traitements.

Traitements	Biomasse totale (g)		Biomasse aérienne (g)		Biomasse racinaire (g)	
	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2
(0 dS.m⁻¹) Témoin						
Biochar	2,66 ^{d*}	3,31 ^b	1,917 ^{de}	2,34 ^b	1,08 ^{de}	0,97 ^{efg}
Compost	27,23 ^a	23,5 ^a	17,15 ^a	17,35 ^a	10,08 ^{abcde}	6,15 ^a
B+C	27,68 ^a	24,11 ^a	13,97 ^{ab}	19,77 ^a	13,70 ^a	4,34 ^{ab}
Témoin	7,44 ^{cd}	5,01 ^b	3,85 ^{cde}	3,62 ^b	3,58 ^{abcde}	1,39 ^{efg}
Biochar + G1	3,053 ^d	1,06 ^b	1,77 ^{de}	0,73 ^b	1,27 ^{de}	0,33 ^g
Compost + G1	25,3 ^a	21,26 ^a	14,49 ^{ab}	17,23 ^a	10,8 ^{abcd}	4,02 ^{bc}
B+C+G1	30,16 ^a	20,69 ^a	19,75 ^a	16,92 ^a	10,41 ^{abcde}	3,77 ^{bc}
G1	7,41 ^{cd}	4,86 ^b	3,80 ^{cde}	3,48 ^b	3,61 ^{abcde}	1,38 ^{efg}
Moyenne	17,35	12,97	9,71	10,18	7,68	2,79
2,7 dS.m⁻¹						
Biochar	5 ^d	2,48 ^b	2 ^{de}	1,98 ^b	3 ^{bcde}	0,5 ^g
Compost	23,91 ^a	23,89 ^a	11,33 ^{abcd}	20,51 ^a	12,58 ^{ab}	3,37 ^{bcd}
B+C	19,16 ^{abc}	19,83 ^a	11,04 ^{abcd}	18,1 ^a	7,98 ^{abcde}	1,73 ^{defg}
Témoin	5,52 ^d	4,58 ^b	3,47 ^{de}	3,63 ^b	2,04 ^{cde}	0,94 ^{fg}
Biochar + G1	1,66 ^d	5,21 ^b	0,27 ^e	3,79 ^b	1,38 ^{de}	1,41 ^{efg}
Compost + G1	26 ^a	21,95 ^a	13,81 ^{ab}	19,2 ^a	12,18 ^{abc}	2,75 ^{bcde}
B+C+G1	23,95 ^a	24,24 ^a	15,22 ^a	20,26 ^a	8,73 ^{abcde}	3,98 ^{bc}
G1	7,77 ^{cd}	5,64 ^b	5,06 ^{bcde}	4,66 ^b	2,7 ^{bcde}	0,97 ^{efg}
Moyenne	16,51	13,47	8,86	11,51	7,62	1,95
5,4 dS.m⁻¹						
Biochar	0 ^d	0,77 ^b	0 ^d	0,62 ^b	0 ^d	0,15 ^g
Compost	21,04 ^{ab}	19,4 ^a	10,96 ^{abcd}	16,96 ^a	10,06 ^{abcde}	2,43 ^{cdef}
B+C	22,91 ^a	21,23 ^a	14,99 ^a	18,62 ^a	7,91 ^{abcde}	2,6 ^{bcde}
Témoin	7,29 ^{cd}	3,94 ^b	3,68 ^{cde}	3,5 ^b	3,61 ^{abcde}	0,44 ^g
Biochar + G1	0,443 ^d	1,76 ^b	0,33 ^e	1,27 ^b	0,11 ^e	0,48 ^g
Compost + G1	26,88 ^a	22,41 ^a	13,23 ^{abc}	19,62 ^a	13,65 ^a	2,79 ^{bcde}
B+C+G1	20,27 ^{ab}	17,97 ^a	11,24 ^{abcd}	16,21 ^a	9,02 ^{abcde}	1,76 ^{defg}
G1	9,16 ^{bcd}	5,48 ^b	5,34 ^{bcde}	5,07 ^b	3,82 ^{abcde}	0,41 ^g
Moyenne	14,95	11,62	8	10,23	6,95	1,38

*Les valeurs sur une même colonne pour une même date présentant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes (Test de Fisher LSD, seuil 5%). G1=Champignon, B=biochar et C= compost

Les biomasses ont été plus élevées significativement pour les traitements : compost, compost+G1, B+C et B+C+G1 aussi bien en 1^{ère} année qu'en 2^{ème} année d'expérimentation ($p=0,0001$). L'association du champignon *Glomus* aux amendements organiques a eu les effets similaires aux effets des amendements organiques seuls sur les paramètres de croissance.

4.3.5. Variation de l'indice de tolérance suivant les différents traitements

L'indice de tolérance au NaCl (IT) a diminué avec l'augmentation de la concentration de NaCl (Tableau 12).

Tableau 12: Indices de tolérance à la salinité (%) de la biomasse aérienne sèche après 2 mois de culture en fonction des traitements

Traitements	Doses de NaCl					
	0 dS.m ⁻¹ (Témoin)		2,7 dS.m ⁻¹		5,4 dS.m ⁻¹	
	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2
Compost	100 ^{a*}	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	97,75 ^a
Compost +G1	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
Biochar	100 ^a	100 ^a	76,66 ^a	84,61 ^a	0 ^b	26,49 ^b
Biochar +G1	100 ^a	100 ^a	33,33 ^b	100 ^b	10,01 ^b	100 ^a
B+C+G1	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	93,333 ^a	95,80 ^a
B+C	100 ^a	100 ^a	99,27 ^a	91,55 ^a	89,460 ^a	94,18 ^a
Témoin	100 ^a	100 ^a	93,67 ^a	100 ^a	81,834 ^a	96,68 ^a
G1	100 ^a	100 ^a	93,182 ^a	100 ^a	91,909 ^a	100 ^a
Moyenne	100	100	87,01	97,02	70,81	88,86

* Pour chaque colonne, les valeurs suivies par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher LSD seuil 5%). G1=Champignon, B=biochar et C= compost

A la récolte, une différence significative est notée entre les IT pour les deux niveaux de NaCl (2,7 et 5,4 dS.m⁻¹). Cet indice a été plus important (100%) avec les traitements (compost, compost+G1) pour les deux doses de NaCl appliquées (2,7 et 5,4 dS.m⁻¹) et B+C+G1 pour la dose de NaCl 2,7 dS.m⁻¹. Les indices les plus faibles sont obtenus avec le biochar et B+G1. Il devient nul (0%) avec la dose de NaCl (5,4 dS.m⁻¹) pour le traitement biochar (tableau 12).

4.3.6. Influence du NaCl et des amendements organiques sur la mycorhization

L'intensité et la fréquence de mycorhization en fonction des différents amendements organiques ont été significativement différentes ($p=0,02$) quelles que soient les doses de NaCl et les années d'expérimentation (tableau 13). Les plants ayant reçu la dose de NaCl la plus importante (5,4 dS.m⁻¹), ont eu une fréquence plus faible (56,31%) comparés aux témoins (0 dS.m⁻¹) (63,02%) quelle que soit l'année. Pour une même concentration en NaCl, les intensités

de mycorhization ont été variables suivant les différents types d'amendements organiques. A 0 dS.m⁻¹, une différence significative a été notée entre les différents traitements (p<0,001).

Tableau 13: Variation de la fréquence et de l'intensité de mycorhization des plants de riz en fonction des traitements

Traitements	Mycorhize			
	Fréquence (%)		Intensité (%)	
	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2
(0 dS.m⁻¹) Témoin				
Biochar	64,44 ^{abc*}	53,88 ^{bcdef}	5,983 ^d	21,317 ^b
Compost	48,88 ^{cdefg}	35 ^{fg}	11,75 ^{bcd}	11,75 ^{bcd}
B+C	69,44 ^{abc}	74,44 ^{ab}	41,65 ^a	41,65 ^a
Témoin	57,7 ^{bcdef}	30 ^{fg}	24 ^b	24 ^b
Biochar + G1	81,66 ^a	64,44 ^{abc}	21,317 ^b	5,983 ^d
Compost + G1	53,33 ^{bcdef}	57,22 ^{bcdef}	8,594 ^{cd}	8,594 ^{cd}
B+C+G1	74,44 ^{ab}	69,44 ^{abc}	43,922 ^a	43,922 ^a
G1	54,1 ^{bcdef}	66,66 ^{abc}	17,083 ^{bcd}	17,083 ^{bcd}
Moyenne	62,99	56,38	21,78	21,78
2,7 dS.m⁻¹				
Biochar	36,66 ^{fg}	38,88 ^{fg}	4,95 ^d	4,95 ^d
Compost	48,88 ^{cdefg}	35 ^{fg}	2,783 ^d	2,783 ^d
B+C	39,16 ^{defg}	62,08 ^{abcd}	10,217 ^{bcd}	10,217 ^{bcd}
Témoin	37,77 ^{fg}	67,77 ^{abc}	22,606 ^b	22,606 ^b
Biochar + G1	72,77 ^{abc}	62,22 ^{abcd}	23,733 ^b	23,733 ^b
Compost + G1	78,88 ^a	59,44 ^{bcdef}	24,067 ^b	24,067 ^b
B+C+G1	62,08 ^{abcd}	77,5 ^a	24,633 ^b	24,633 ^b
G1	63,88 ^{abcd}	67,77 ^{abc}	24,756 ^b	24,756 ^b
Moyenne	55,01	58,83	17,21	17,21
5,4 dS.m⁻¹				
Biochar	51,6 ^{bcdef}	78,88 ^a	9,45 ^{cd}	23,233 ^b
Compost	63,33 ^{abcd}	43,33 ^{cdefg}	18,661 ^{bc}	18,661 ^{bc}
B+C	33,33 ^{fg}	63,33 ^{abc}	0,017 ^d	0,017 ^d
Témoin	25,55 ^g	35 ^{fg}	7,333 ^{cd}	7,333 ^{cd}
Biochar + G1	66,66 ^{abc}	75 ^{ab}	23,233 ^b	9,45 ^{bcd}
Compost + G1	60,55 ^{abcd}	75 ^{ab}	21,392 ^b	21,392 ^b
B+C+G1	67,77 ^{abc}	41,25 ^{cdefg}	21,217 ^b	21,217 ^b
G1	81,66 ^a	80 ^a	50,033 ^a	50,033 ^a
Moyenne	56,3	61,47	18,91	18,91

* Pour chaque colonne, les valeurs suivies par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher LSD (seuil 5%). G1=Champignon, B=biochar et C= compost

Le biochar associé au champignon a une fréquence de mycorhization plus importante (81,66%) suivi du traitement B+C+G1 (74,44%). A 2,7 dS.m⁻¹ de salinité, seuls les plants inoculés avec

Glomus en association avec les amendements organiques ont présenté des intensités et fréquences de mycorhization significativement plus élevées. A la concentration de 5,4 dS.m⁻¹, les intensités et fréquences sont significativement plus élevées chez les plants inoculés avec *G. mosseae* seul comparés aux autres plants qui ont été mycorhizés mais en association avec les amendements organiques. Pour les plants témoins et ceux issus de traitements aux amendements organiques, la présence de mycorhization a été notée avec les traitements aux amendements organiques avec l'intensité et la fréquence de mycorhization qui ont augmenté significativement ($p < 0,05$).

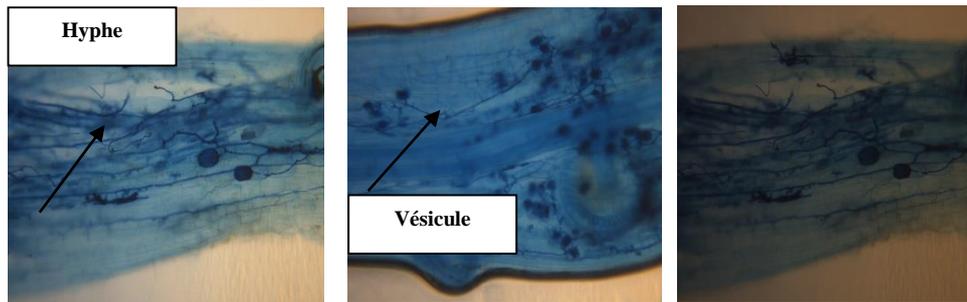


Figure 22: Photos montrant les différentes vésicules et hyphes des racines de riz (crédit photo Yaya DIATTA)

4.3.7. Corrélation entre les différents traitements et les paramètres étudiés

L'analyse du cercle de corrélation a montré que l'axe F1 a expliqué 75,12% et 53,87% respectivement année 1 et année 2 de la variabilité étudiée (Figure 23). Au total, les deux premiers axes F1 et F2 expliquent 88,20% et 85,01% de la variabilité totale respectivement année 1 et année 2.

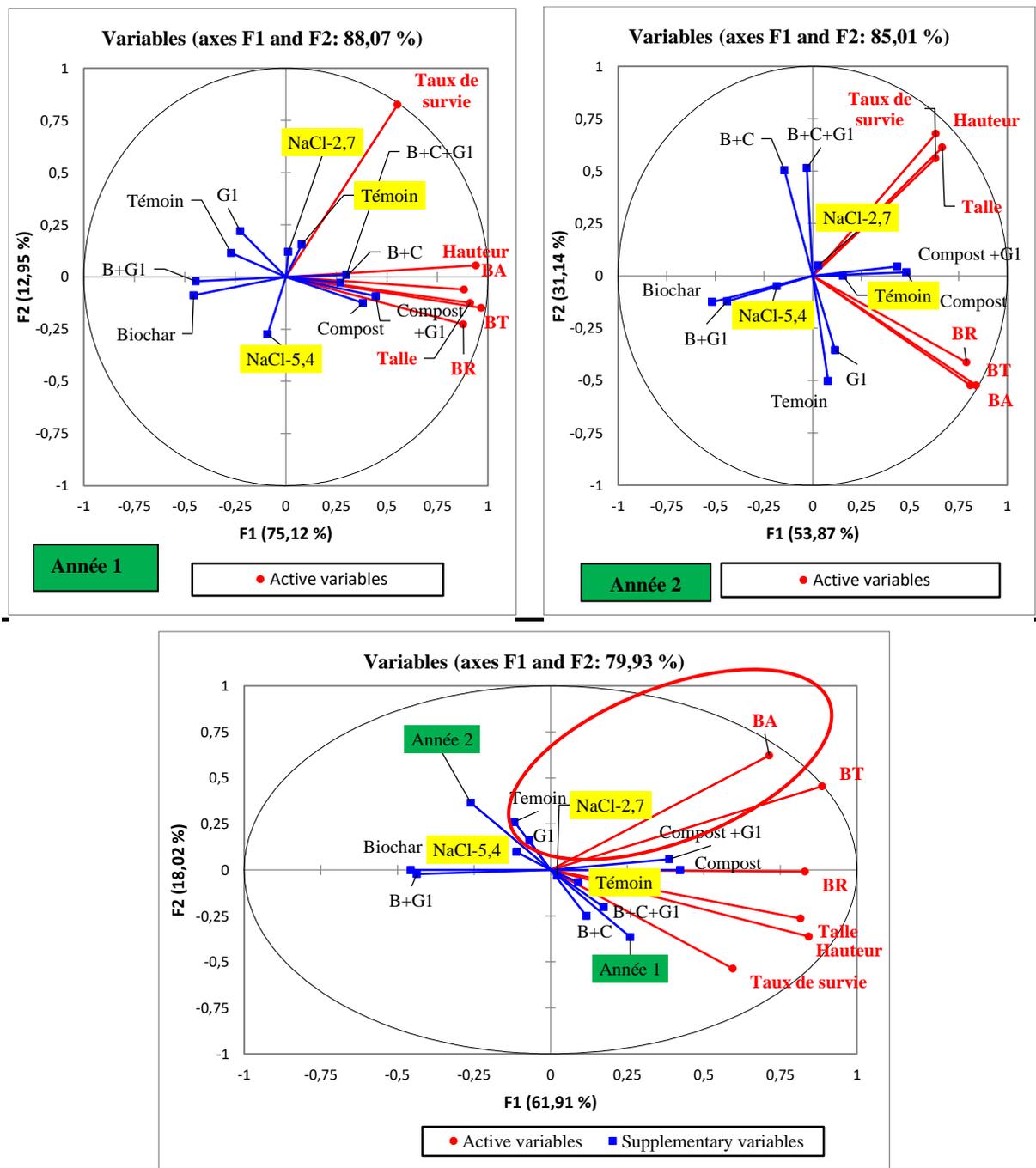


Figure 23: Corrélation entre les paramètres étudiés et les différents traitements sur le plan factoriel (F1 et F2) suivant les doses de sel et les années d'expérimentation

Suivant l'axe 1, nous notons une forte corrélation entre la hauteur, la biomasse totale, les biomasses racinaires et aériennes et le nombre de talles avec les traitements compost et C+G1 pour les taux de salinité 0 dS.m^{-1} et $2,7 \text{ dS.m}^{-1}$ pour les deux années d'expérimentation. Par contre, pour les témoins sans sel, le taux de survie est plus important avec le traitement B+C et B+C+G1. Pour les traitements biochar, C+B+G1, aucun des paramètres n'est corrélé aux amendements. Ainsi nous pouvons retenir que les doses de NaCl de $5,4 \text{ dS.m}^{-1}$ ont affecté

négativement les paramètres du riz quels que soient les types d'amendements organiques apportés.

4.4. Discussion

4.4.1. Effet du NaCl, du champignon mycorhizien (*Glomus mosseae*), et de l'amendement organiques sur la croissance et la production en matière sèche du riz

Le taux de survie des plants de riz a varié en fonction des doses de NaCl, des dates de mesures et suivant les amendements organiques apportés. Le faible taux de survie enregistré avec la dose de NaCl 5,4 dS.m⁻¹ serait dû à la non-disponibilité des éléments nutritifs résultant du taux de salinité. Selon Munns et *al.* (2006) et Kémassi, (2011), l'excès de sel dans le sol entraîne une baisse de la disponibilité des nutriments pour les plantes et conduit ainsi à leur mortalité. Des résultats similaires ont été trouvés par Labo et *al.*, (2016) qui ont noté une mortalité plus importante des plants en fonction du temps d'application du stress salin. Les réponses des plantes à la salinité pouvaient donc varier avec le degré et la durée de la contrainte imposée, ainsi que le stade de développement de la plante (Munns, 1993). Diatta et *al.* (2019) ont souligné la sensibilité du riz au stress salin durant le stade plantule et aussi au moment du tallage maximal des plants. Ces résultats sont en phase avec les travaux de Diatta et *al.* (2019) qui ont noté une mortalité importante des plants de riz dans les zones salées durant le stade plantule et pendant le tallage.

La croissance du riz a été fortement stimulée par l'apport d'amendements organiques quelle que soit la dose de NaCl apportée. Les biomasses végétales les plus importantes sont obtenues avec les traitements Compost, C+G1, B+C, B+C+G1. Cette stimulation de la croissance s'expliquerait par la disponibilité en éléments nutritifs des amendements organiques utilisés (Mukendi et *al.*, 2017). Ces résultats sont en phase avec les travaux de (Mrabet et *al.*, 2011) qui ont obtenu une biomasse importante avec le compost. Zamil et *al.*, (2004) et Zro et *al.*, (2018) ont montré que les amendements organiques amélioraient la disponibilité de l'azote, du phosphore et du potassium, ce qui conduit à une meilleure croissance de la plante. Dans notre étude la combinaison biochar et compost a plus efficacement stimulé la croissance des plants comparée à l'utilisation du compost seul. Des résultats similaires ont été trouvés par (Ognalaga et *al.*, 2015) qui ont noté des hauteurs plus importantes lorsqu'ils associaient le biochar au compost. En effet, selon ces auteurs, la croissance en hauteur des plantes et des paramètres de production sont largement liés à la disponibilité du sol en azote et en phosphore.

L'utilisation combinée du champignon et des amendements organiques n'a pas stimulé significativement la croissance du riz comparée aux apports d'amendements organiques seuls. Ces résultats pourraient s'expliquer par la teneur en éléments nutritifs des amendements organiques apportés et qui limiterait l'effet des champignons sur l'amélioration de la croissance des plantes. Une étude précédente (Hérinasandratra, 2019) a montré que les mycorhizes stimulaient la croissance des plantes-hôtes en particulier dans des sols où la disponibilité en éléments minéraux était faible ; les champignons seraient plus efficaces lorsque le milieu est pauvre en éléments minéraux. Ces résultats corroborent ceux de Haro et *al.*, (2012) qui ont montré que la plante ne trouve pas de nécessité d'établir une symbiose mycorhizienne si les éléments nutritifs sont disponibles et directement accessibles. Ainsi, la fertilisation appliquée aux plants pendant leur croissance a une influence majeure dans l'établissement de la mycorhization (Boukcim et Mousain, 2001).

4.4.2. Effet du NaCl et des amendements organiques sur la Mycorhization

La fréquence et l'intensité de mycorhization les plus importantes ont été obtenues avec le traitement *Glomus* seul quelle que soit la dose de NaCl. Ces résultats sont en phase avec les travaux de Ndonga et *al.* (2019) qui ont noté une fréquence et une intensité de mycorhization élevées avec les plants de manioc sans apport d'amendement organique. Ces derniers ont conclu que les amendements organiques réduisaient l'efficacité des champignons. Le même constat a été fait par Diouf et *al.* (2010) qui ont noté que les fortes teneurs du sol en azote et en phosphore assimilable inhibaient les symbioses microbiennes. Dans notre étude, l'intensité de la mycorhization n'a pas atteint les 50% quel que soit le traitement utilisé. Quilambo, (2003) soutient que les faibles taux de colonisation racinaire seraient liés à la sécrétion de substances antifongiques ou à la qualité des exsudats racinaires qui inhiberaient la mise en place de l'infection mycorhizienne. La relation mutualiste entre le champignon *Glomus* et son hôte n'a pas été bénéfique pour le développement du riz malgré sa fréquence de mycorhization élevée 80%. La croissance des plantes de riz n'est donc pas forcément liée à l'intensité et la fréquence de mycorhization. Ces résultats sont en accord avec ceux de Hetrick et *al.*, (1992) qui ont montré que la croissance des plants n'était pas forcément liée au degré de colonisation de leurs racines par les champignons.

4.5. Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'évaluer la réponse du riz par rapport à l'inoculation mycorhizienne et aux apports d'amendements organiques (compost d'anacarde et biochar) en fonction de la concentration en NaCl. De ces résultats, il ressort des effets similaires entre l'apport d'amendements organiques seul et l'inoculation mycorhizienne associée aux apports amendements organiques sur les paramètres de croissance (hauteur et nombre de talles) et de production (biomasses aérienne et racinaire) du riz quelle que soit la dose de NaCl apportée. Il apparaît que les doses de NaCl de 5,4 dS.m⁻¹ affecteraient négativement le taux de survie des plants de riz aux 45 et 60 JAS. La fréquence et l'intensité de mycorhization des plants de riz ont été plus importantes quand le champignon est utilisé seul. Ainsi, leur association avec les amendements organiques a réduit l'établissement de la mycorhization. Il serait intéressant qu'une étude complémentaire s'intéresse à une double inoculation mycorhizienne et rhizobienne afin d'évaluer leurs effets sur la croissance et la production de biomasse du riz.

Il serait également intéressant de suivre l'effet de ces facteurs sur la croissance du riz et sur les caractéristiques du sol en milieu naturel, au champ afin de pouvoir asseoir une stratégie efficace de résilience face à la salinisation accrue des terres agricoles.

CHAPITRE 5 : EFFETS DES AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR LA CROISSANCE, LE RENDEMENT DU RIZ, LA DYNAMIQUE ET LA COMPOSITION DES ESPECES HERBACEES EN MILIEU SALIN DANS LA COMMUNE D'ENAMPORE EN BASSE CASAMANCE (SENEGAL)

Ce chapitre a fait l'objet d'une publication dans une revue scientifique (*Journal of Animal and Plant Science*) et de trois communications orales.

Yaya DIATTA¹, Sire DIEDHIOU², Aly DIALLO², Arfang Ousmane Kémo GOUDIABY³, Jean BASSENE¹, Yves Paterné SAGNA¹, Mamadou SOW¹, Mariama Dalanda DIALLO⁴, Ibrahima NDOYE⁵, Saliou FALL⁶. Effets des amendements organiques sur la dynamique et la composition des espèces herbacées en milieu salin dans la commune d'Enampore en Basse Casamance (Sénégal). *Journal of Animal & Plant Sciences* (J.Anim.Plant Sci. ISSN 2071-7024) Vol.53 (1) : 9621-9639 <https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v53-1.5>

1^{er} colloque international sur le thème « *Soutenabilité environnementale et économique dans les zones humides du Sahel* » tenu en Mauritanie du 15 au 17 Novembre 2022.

Colloque international sur le thème : « *les nouveaux défis de l'anthropologie et de la sociologie rurale pour un développement durable en Afrique* » tenu au Bénin du 16 au 18 Novembre 2022.

7^{ième} édition du CASAMANSUN/FITER sur le thème « *Développement durable et innovation dans les secteurs des énergies renouvelables dans un contexte d'exploitation pétrole-gaz et de crises énergétique et sanitaire* » tenue à Ziguinchor du 23 au 26 Novembre 2022.

Résumé

L'apport d'amendements organiques pourrait contribuer à augmenter la résilience du riz de bas-fond en Basse Casamance face aux contraintes majeures que sont la salinité et les adventices. L'objectif de cette étude était de tester l'effet de différents amendements organiques (biochar et compost) sur la tolérance du riz à la salinité et sur la flore adventice dans les bas-fonds en Basse Casamance. Un dispositif expérimental en split plot a été adopté avec deux facteurs : le type d'amendement organique avec 4 modalités (biochar, compost, compost + biochar et le témoin) et la salinité avec deux modalités (zone salée et zone non salée). Ces traitements ont été répétés 3 fois pendant deux années consécutives 2020 et 2021 dans les deux sites de Selecky et d'Essyl. Les caractéristiques physico-chimiques de même que les paramètres de croissance et de production du riz ont été étudiés. Des relevés et des observations ont été menés avant, pendant et après la levée du riz. Dans la zone salée, les apports d'amendements ont significativement augmenté le nombre de talles et la hauteur des plants de riz comparés aux témoins ($p < 0,05$). Le rendement moyen en riz et les biomasses végétales ont été significativement plus importants au niveau des parcelles amendées à Selecky pendant les deux

années expérimentales ($p < 0,05$). A Essyl par contre la hauteur, le nombre de talles, le rendement en riz et les biomasses végétales ont été plus faibles pendant la 2^{ème} année d'expérimentation. Pour ce qui concerne la flore adventice, 24 espèces réparties dans 22 genres et 11 familles ont été répertoriées dans les deux sites. Les familles dominantes sont représentées par les *Poaceae* (25%) et les *Cyperaceae* (25%). La fréquence des adventices a diminué à la 2nd année (10%). L'indice de Shannon indique une diversité généralement faible mais plus élevée dans les zones non salées. Les amendements organiques n'ont pas eu d'effet significatif sur la diversité et la composition des herbacées ($p > 0,05$), par contre leur effet a été significatif ($p < 0,05$) sur les paramètres de production et de rendement du riz en zone salée.

Mots clés : rizière, salinité, biochar, compost, adventice

Abstract

The use of organic amendments could help increase the resilience of lowland rice to the major constraints in Lower Casamance: salinity and weeds. The objective of this study was to test the effect of different organic amendments (biochar and compost) on the tolerance of rice to salinity and on the weed flora in the lowlands of Lower Casamance. A split plot design was adopted with two factors: the type of organic amendment with four treatments (biochar, compost, compost + biochar and the control) and salinity with two treatments (saline and non-saline areas). These treatments were repeated 3 times during two consecutive years 2020 and 2021 in both Selecky and Essyl sites. The physico-chemical characteristics as well as the growth and production parameters of the rice were studied. Surveys and observations were conducted before, during and after rice emergence. In the saline zone, the number of tillers and the height of rice plants increased significantly with the application of amendments compared to the controls ($p < 0.05$). Average paddy yield and plant biomass were significantly higher in the amended plots at Selecky in both experimental years ($p < 0.05$). At Essyl, on the other hand, the height, the number of tillers, the paddy yield and the plant biomass were lower during the second year of the experimentation. Regarding the weed flora, 24 species in 22 genera and 11 families were recorded in both sites. The dominant families are represented by *Poaceae* (25%) and *Cyperaceae* (25%). Weed frequency decreased in the 2nd year (10%). The Shannon index indicates a generally low diversity but higher in non-saline areas. Organic amendments had no significant effect on weed diversity and composition ($p > 0.05$), but their effect was significant ($p < 0.05$) on rice production and yield parameters in the saline zone.

Keywords: rice field, salinity, biochar, compost, weed

5.1. Introduction

Le riz (*Oryza saliva* L.) est l'une des principales céréales consommées en Afrique de l'Ouest, sa consommation a connu la plus forte progression au niveau mondial, passant d'environ 30 kg.hab.an⁻¹ en 1990 à 45 kg en 2010 (del Villar et Bauer, 2013). Au Sénégal, la production du riz reste insuffisante pour couvrir les besoins de consommation entre 60 et 70 kg.hab.an⁻¹ (Gueye, 2004). La Casamance, une des principales zones rizicoles du pays, regorge d'énormes potentialités dans le domaine de la riziculture pluviale. Toutefois, la production de riz dans cette zone du pays reste encore très faible. Selon Manzelli et al. (2015), les principales contraintes pédoclimatiques de la riziculture de bas-fond en Basse Casamance sont surtout liées à la salinisation des sols, à la toxicité ferreuse et à l'irrégularité de la pluviométrie. Ces contraintes sont à l'origine de l'abandon des rizières et à la baisse des rendements rizicoles en basse Casamance. Comme facteurs biotiques, les adventices constituent une contrainte majeure à la production des cultures et entraînent de ce fait une baisse considérable de leur rendement (Noba, 2002; Bassène et al., 2012; Mbaye, 2013). Ces mauvaises herbes sont en compétition continue avec les cultures pour la lumière, l'eau, et les nutriments et peuvent donc, si elles ne sont pas suffisamment contrôlées, être à l'origine de la perte conséquente de rendements (Bassene et al., 2014). Des baisses de rendements de 13,8% à 90% dues aux dommages des mauvaises herbes sur les cultures, ont été rapportées par plusieurs auteurs (Peerzada et al., 2017, Manalil et al., 2017 ; Etiabi et al., 2021). Plusieurs stratégies sont adoptées par les producteurs afin de minimiser l'effet du NaCl sur la production du riz. Ces stratégies reposent principalement sur la confection des digues traditionnelles, l'utilisation de variétés à cycle court et sur l'apport d'amendements organiques. Ainsi les amendements organiques du fait de leur teneur importante en éléments nutritifs pourraient réduire l'effet du NaCl sur la plante et ainsi améliorer le rendement du riz. Selon APRAO, (2011), les apports de matières organiques augmenteraient la capacité de rétention hydrique, la capacité d'échange cationique et apporteraient des éléments nutritifs aux plantes. Plusieurs travaux ont montré que les amendements organiques amélioreraient les rendements des cultures dans les sols affectés par le NaCl. Ainsi l'utilisation de matière organique tel que le biochar et le compost d'anacarde pourrait être une alternative pour réduire les effets du NaCl dans les rizières. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude dont l'objectif était de tester l'effet de différents amendements organiques sur la tolérance à la salinité du riz dans les bas-fonds des villages de Selecky et d'Essyl en Basse Casamance.

5.2. Matériel et méthodes

5.2.1. Matériel végétal et organique

La variété WAR77 du genre *Oryza* a été utilisée comme matériel végétal. Il s'agit d'une variété adaptée aux bas-fonds et résistante à la salinité. Deux types d'amendements organiques ont été utilisés dans le cadre de cette étude. Il s'agit du compost d'anacarde (C) et du biochar (B). La composition chimique de ces amendements est représentée dans le tableau 14.

Tableau 14: Composition chimique des amendements organiques : biochar et compost d'anacarde

	Biochar	Compost d'anacarde
pH eau 1/ 2,5	7,5	6
CE 1/ 10 μs/Cm	173	148
%C	5,56	8,98
MO %	9,58	15,48
N %	0,56	0,84
C/N	10	11
Ca²⁺ meq/100g	13,5	1,425
Mg²⁺ meq/100g	3,75	1,2
Na⁺ meq/100g	0,073	0,050
K⁺ meq/100g	3,32	0,74
P ppm	14,17	15,71
S meq/100g	20,64	3,42
CEC meq/100g	9	11
T %	229	31
PSE %	0,8	0,5

CE (Conductivité électrique) ; pH (potentiel d'hydrogène) ; MO% (Pourcentage de Matière organique) ; %C (Pourcentage de Carbone) ; N % (Pourcentage d'Azote) ; P (Phosphore) ; K⁺ (Potassium) ; S (Souffre) ; CEC (Capacité d'échange cationique) ; C/N (Rapport Carbone-Azote) ; Na⁺ (Sodium) ; T% (Taux de saturation en bases) ; PSE% (Pourcentage somme des bases échangeable) ; Mg (Magnésium) ; Ca (Calcium)

5.2.2. Dispositif expérimental et méthodes d'inventaire des herbacées

Un dispositif expérimental en split plot avec 2 facteurs a été installé dans les deux villages: le type d'amendement organique avec 4 niveaux (biochar, compost, compost + biochar et le témoin) et la salinité de la zone avec 2 niveaux (salée et non salée). Pour le facteur amendement, un niveau aléatoire a été déterminé et répété 3 fois pour un total de 24 unités expérimentales par site (figure 24). Au total nous avons 48 parcelles élémentaires pour les 2 sites d'étude.

L'étude des espèces herbacées dans les rizières s'est déroulée en début d'hivernage et la collecte de données a été effectuée avant la mise en place du riz, pendant le semis et après récolte du riz. Pour ce faire la méthode à laquelle nous avons fait recours est celle dite des « points

quadrats » (Daget et Poissonet, 1969). Cette méthode consiste à déterminer l'évolution des espèces végétales mais aussi à comparer les caractéristiques de la strate herbacée avant et après apport d'amendements organiques au niveau des casiers rizicoles affectés ou non par la salinité. Dans chaque casier rizicole, une pose de cinq (05) quadrats de 50 cm × 50 cm subdivisés chacun en 25 carrés de 10 cm de côté, dont quatre (04) aux extrémités et un (01) au centre, a été effectuée (Figure 25). Le choix de ces cinq quadrats se justifie du fait de la petite dimension des casiers rizicoles dans la zone. Chaque carré au niveau du quadrat constitue un point de lecture. Ceci permet de déterminer la proportion des carrés dans laquelle une espèce est présente et une fréquence de présence pourra ainsi être obtenue pour l'ensemble des espèces présentes (Lavorel et *al.*, 1999). Au total 240 quadrats ont été déterminés au niveau des 2 sites d'étude et pour chaque quadrat de 50cm×50cm, des coordonnées géographiques ont été déterminées à l'aide du GPS. Ainsi toutes les herbacées inventoriées ont été identifiées sur le terrain et au laboratoire à l'aide de la flore de Berhaut, (1967) et des adventices tropicales (Merlier et Montegut, 1982).

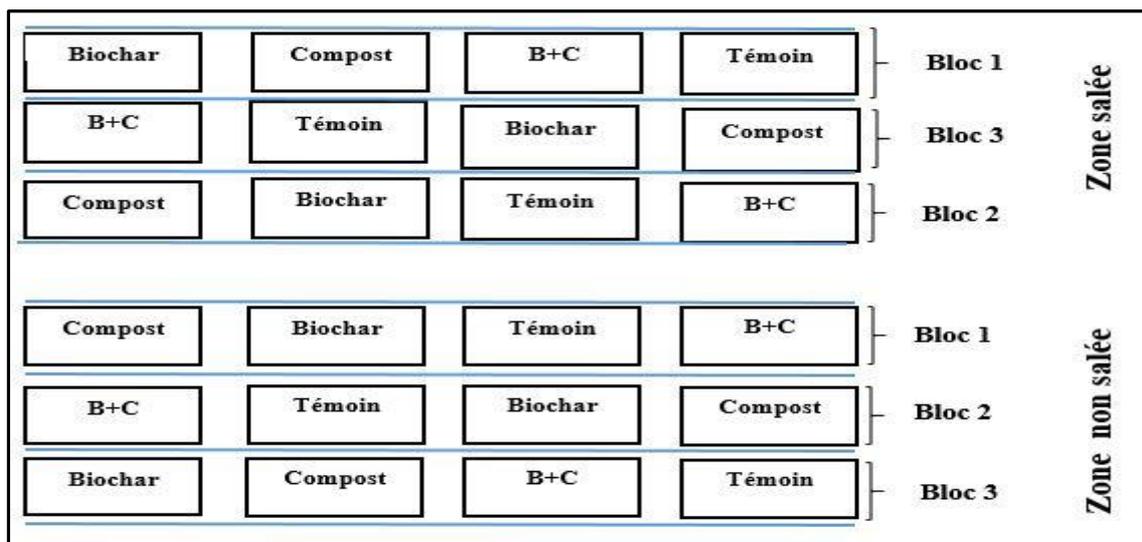


Figure 24: Dispositif expérimental en milieu paysan

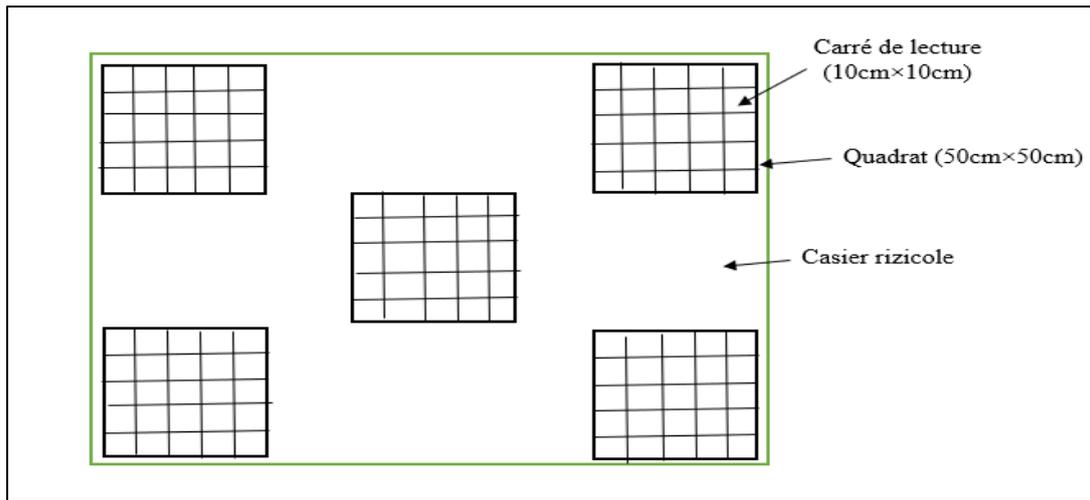


Figure 25: Schéma illustrant la pose des quadrats au niveau du casier rizicole

5.2.3. Aménagement des casiers rizicoles

Les plants ont été mis en pépinière pendant 21 jours avant d'être transférés dans les rizières où un dispositif expérimental en split plot a été adopté dans la zone salée et non salée (figure 26). Les amendements ont été apportés une semaine avant le repiquage des plants à raison de 10 kg.m² dans chaque casier rizicole (figure 26). Les plants de riz ont été transférés sur les billons avec un écartement de 20 cm entre les plants sur la longueur et sur la largeur des billons et en raison de 1 plant par poquet, soit une densité de 33 plants.m².



Figure 26: Pépinière de riz (A), labour des parcelles (B)

5.2.4. Les paramètres agro-morphologiques collectés

Le nombre de talles, la hauteur moyenne, le nombre de panicule par plante, la masse moyenne des panicules, la biomasse végétale sèche, la masse des 1000 grains et le rendement ont été déterminés sur le riz. Ces paramètres ont été mesurés ou collectés après la récolte du riz à l'exception du nombre de talles qui a été déterminé à 60 jours après repiquage (JAR).

5.2.4.1. Le taux de survie des plants

Le taux de survie a été évalué à 15 JAR, 60 JAR et 90 JAR. Il s'est agi d'un décompte du nombre de plants qui ont survécu après transfert dans les différents casiers d'expérimentation.

5.2.4.2. Le nombre de talles des plants

Le comptage du nombre de talles a été effectué à 60 JAR. Celui-ci a porté sur 10 plants par traitement dans les 2 zones d'étude.

5.2.4.3. La hauteur moyenne des plants

La hauteur des plants a été mesurée sur 10 individus par traitement et par zone à 90 JAR, veille de la récolte. La hauteur a été mesurée à l'aide d'une règle graduée à partir du collet du plant jusqu'à la panicule la plus haute.

5.2.4.4. Le nombre de panicule par plante

Ce paramètre a été déterminé par comptage de panicules sur 10 plants pour chaque traitement, par zone et par site à 90 JAR

5.2.4.5. La masse moyenne des panicules, biomasse sèche aérienne et racinaire

La masse des panicules et la biomasse sèche aérienne et racinaire à maturité ont été déterminées en faisant le cumul de la masse moyenne des plants par traitement et par zone. Les biomasses collectées ont été pesées après séchage à l'étuve à 70°C pendant 72 h en utilisant une balance de précision à 10⁻⁴.

5.2.4.6. La masse des 1000 grains

Un total de mille (1000) grains a été collecté à maturité puis pesé sur 10 plants par traitement.

5.2.4.7. Le rendement.

Le rendement a été déterminé en utilisant la formule de Lacharme, (2001)

$$\text{Rendement} = \text{NP/ha} \times \text{NT/P} \times \text{Npa/T} \times \text{NG/Pa} \times \text{PG}$$

Avec NP/ha = nombre de plants/hectare = NP/m² x 10 000

NT/P = nombre de talles/pieds ; Npa/T = nombre de panicule/talle ; NG/Pa = nombre de grains/panicules ; PG = poids d'un grain

5.2.5. Paramètres physico-chimiques du sol

5.2.5.1. Echantillonnage du sol

Des échantillons de sol ont été prélevés dans chaque parcelle avant labour et au cours du cycle du riz afin d'évaluer la texture et les paramètres chimiques du sol (teneur azote, phosphore,

potassium et base échangeables). Ces prélèvements ont été réalisés sur les horizons 0-10 cm et 10-30 cm de façon aléatoire et à l'aide d'une tarière. Trois échantillons ont été prélevés par traitement pour en faire un échantillon composite. Au total 96 échantillons ont été prélevés dans les deux zones (salée et non-salée). D'autres prélèvements ont été effectués à 15 JAR, lors du tallage du riz à 60 JAR et à la veille de la récolte à 90 JAR. La texture du sol a été déterminée suivant les analyses granulométriques basées sur la sédimentation. La quantification des éléments minéraux a été effectuée au laboratoire à l'institut national de pédologie (INP) de Dakar. Les éléments chimiques analysés sont : la conductivité électrique (EC), le pH (eau), le carbone total (C), l'azote total (N), le phosphore total (P) et assimilable, le potassium (K) et les bases échangeables.

5.2.6. Paramètres de diversité floristique

Pour évaluer la diversité et la composition floristique des espèces en fonction des amendements organiques, les paramètres suivants ont été déterminés : la hauteur des espèces inventoriées, leur recouvrement, leur fréquence, les indices de diversités et la contribution de chaque espèce. Les indices nous permettent de déterminer d'une autre manière la diversité floristique des deux sites et des deux zones. Ils jouent le rôle de comparaison de la biodiversité d'un site à un autre.

5.2.6.1. Hauteur moyenne

La hauteur moyenne de chaque espèce herbacée inventoriée a été mesurée à l'aide d'une règle.

5.2.6.2. Taux de couverture des herbacées :

Il a été estimé sur le terrain par une observation.

5.2.6.3. La fréquence spécifique de présence (FSP)

Elle correspond au pourcentage des points où l'espèce a été rencontrée et se calcule par la formule de Roberts-Pichette et Gillespie (2002)

$$FSP \% = \frac{ni \times 100}{N}$$

ni : nombre de points où l'espèce (i) est présente

N : nombre total de points de lecture

5.2.6.4. La contribution spécifique présence (CSP)

La contribution spécifique présence traduit la participation de l'espèce dans l'occupation spatiale du site. C'est le rapport en pourcentage entre la fréquence de cette espèce et la somme

des fréquences spécifiques des autres espèces (Diallo et *al.*, 2012). Elle est exprimée par la formule suivante

$$CSP \% = \frac{FSPi \times 100}{\sum FSPi}$$

5.2.6.5. L'indice de Shannon Weaver (H'), qui considère à la fois l'abondance et la richesse spécifique, est utilisé pour apprécier la distribution des individus suivant les espèces. Cet indice de Shannon- Weaver, exprimé en bits, est donné par la formule suivante :

$$H'' = - \sum_{i=1}^s \frac{Ni}{N} \ln \frac{Ni}{N}$$

5.2.6.6. L'indice de régularité (E) est sans unité et est égal au rapport entre la diversité observée, qui correspond à l'indice de Shannon (H') et une distribution de fréquence des espèces complètement égale, c'est-à-dire la valeur de l'équitable maximale (H max) :

$$E = \frac{H''}{Hmax}$$

5.2.6.7. L'indice de diversité bêta (β) : Il permet de quantifier le degré de ressemblance de deux listes d'espèces de deux sites A et B. Ce coefficient de similitude est obtenu par la formule suivante (Cardoso et *al.*, 2009) :

$$\beta = \frac{2c}{S1+S2}$$

S1 représente le nombre d'espèces d'une liste appartenant à un site 1 ; **S2** est le nombre d'espèces d'une liste appartenant à un site 2 et **C** représente le nombre d'espèces communes aux deux sites (1 et 2). L'indice varie de 0 quand il n'existe aucune espèce commune entre les deux habitats, à 1 quand toutes les espèces rencontrées sont communes aux deux habitats.

5.3. Résultats

5.3.1. Texture du sol

L'analyse des résultats a montré que la texture du sol est sablo-limoneuse, quels que soient la profondeur de prélèvement et les sites (Tableau 15).

Tableau 15: Composition physique du sol prélevé à différentes profondeurs en fonction de la salinité de la zone dans les deux sites

Eléments physiques	Argile (%)		Limos fins (%)		Limon grossiers (%)		Sables fins (%)		Sables moyens (%)		Sables grossiers (%)	
	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30
Essyl												
Salée	9,5 ^{de*}	6,75 ^e	8,75 ^{de}	6 ^e	9,04 ^{de}	25,14 ^{bc}	24,37 ^{bc}	27,78 ^{bc}	45,14 ^{ab}	33,13 ^{ab}	3,19 ^f	1,19 ^f
Non salée	5 ^e	7,75 ^e	4,75 ^e	5,75 ^e	29,4 ^{bc}	20,75 ^{bc}	24,37 ^{ab}	25,53 ^{bc}	34,31 ^{ab}	37,9 ^{ab}	2,17 ^f	2,31 ^f
Selecky												
Salée	10 ^{de}	10,5 ^{de}	14,5 ^{cd}	14,5 ^{cd}	102,06 ^a	26,22 ^{bc}	27,3 ^{bc}	25,83 ^{bc}	22,22 ^{bc}	21,17 ^{bc}	2,03 ^f	1,76 ^f
Non salée	23,25 ^{bc}	28,5 ^{bc}	11,25 ^{cd}	9,5 ^{de}	16,81 ^{cd}	18,63 ^{cd}	35,72 ^{ab}	31,8 ^{ab}	12,08 ^{cd}	10,4 ^{de}	0,88 ^f	1,16 ^f

*Au niveau de chaque site, les traitements présentant les mêmes lettres par colonne ne sont pas statistiquement différents (test de Fisher à $p < 0,05$).

5.3.2. Effets des amendements organiques sur les propriétés chimiques du sol

Le pH du sol varie de 3 à 7 quelle que soit la profondeur de prélèvement pour tous les traitements dans les deux sites.

Les teneurs en carbone organique (C) sont comprises entre 0,7% et 3,7% ; pour la matière organique (MO) elles sont comprises entre 1,2% et 9,2%. Ces teneurs sont significativement différentes en fonction de la profondeur de prélèvement ($p < 0,05$). La teneur en azote des sols des différents traitements est comprise entre 0,07% et 0,46% ; elle est significativement différente en fonction de la profondeur de prélèvement, des amendements organiques mais également des sites ($p > 0,05$). Les teneurs en sodium (Na^+), potassium (K^+) et magnésium (Mg^{2+}) ont significativement variées ($p = 0,01$) quels que soient la profondeur de prélèvement et les différents amendements organiques apportés et ceci pour tous les sites ($p < 0,05$). Les teneurs en potassium sont comprises entre 0,1 et 0,31 meq.100g⁻¹ pour tous les traitements et tous les sites. La teneur en Na^+ des sols comprise entre 0,15 et 0,31 meq.100 g⁻¹. Les valeurs en Mg^{2+} sont comprises entre 0,51 et 0,96 meq.100g⁻¹ pour tous les traitements et quel que soit le site.

La teneur en phosphore assimilable a varié significativement en fonction des traitements et des sites ($p = 0,03$). A Essyl, les teneurs en phosphore assimilable sont significativement plus élevées comparées aux autres. L'ANOVA a montré une différence significative pour la CEC quels que soient la profondeur de prélèvement et les amendements organiques pour tous les sites ($p > 0,05$).

La valeur de la CEC est plus importante à Essyl pour l'ensemble des traitements.

En somme, Il ressort de ces analyses que l'effet des traitements sur les propriétés chimiques varie en fonction des zones et surtout des sites (Tableau 16).

Tableau 16: Propriétés chimiques du sol prélevé à différentes profondeurs en fonction des amendements organiques et de la salinité de la zone dans les deux sites.

Eléments chimiques		pH eau		CE 1/ 10 µs/Cm		%C		MO %		N %		C/N		Ca2+ meq/100g		Mg + meq/100g		Na+ meq/100g		K+ meq/100g		P ppm		CEC meq/100g	
Zones		0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10_30	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10_30	0-10	10-30	0-10	10-30
Essyl																									
Salée	Initiale	3,6 ^{t*}	3,6 ^t	490 ^d	410 ^j	3,76 ^g	3,68 ^h	6,49 ^g	6,3 ^h	0,32 ^d	0,32 ^d	12 ^{ab}	11 ^b	0,23 ^v	0,53 ^s	2,03 ^d	0,38 ^r	0,07 ^q	0,03 ^{uv}	0,016 ^{mn}	0,00 ^o	10,88 ^c	9,65 ^d	19 ^a	19 ^a
	Biochar	4,0 ^{pq}	3,6 ^t	496 ^c	696 ^a	4,53 ^d	2,91 ^k	7,81 ^d	5,01 ^k	0,39 ^b	0,25 ^f	12 ^{ab}	11 ^b	0,91 ^p	1,65 ^h	2,71 ^b	0,90 ^m	0,081 ^p	0,16 ^f	0,000 ^o	0,01 ^{no}	2,94 ^m	2,26 ^q	17 ^{bc}	19 ^a
	Compost	4 ^q	3,6 ^t	246 ^q	352,33 ^o	2,91 ^k	2,91 ^k	5,01 ^k	5,02 ^k	0,25 ^f	0,25 ^f	11,33 ^{ab}	11 ^b	0,91 ^p	0,45 ^t	0,08 ^v	0,15 ^u	0,17 ^e	0,06 ^t	0,026 ^{lm}	0,04 ^{kl}	6,62 ^f	12,32 ^b	16,96 ^{bc}	19 ^a
	B+C	5,21 ^f	3,71 ^s	337 ^p	373,33 ⁿ	5,39 ^a	4,62 ^c	9,29 ^a	7,96 ^c	0,46 ^a	0,39 ^b	12,33 ^{ab}	12 ^{ab}	0,38 ^u	0,53 ^s	0,08 ^v	0,98 ^l	0,03 ^{tu}	0,021 ^{vw}	0,01 ^{no}	0,01 ^{no}	2,18 ^r	7,94 ^e	12,36 ^{ijkl}	18 ^{ab}
	Témoin	3,9 ^r	4,11 ^p	395,33 ^k	116 ^G	3,59 ⁱ	3,93 ^f	6,19 ⁱ	6,78 ^f	0,31 ^{de}	0,34 ^c	12 ^{ab}	12 ^{ab}	0,45 ^t	0,75 ^r	1,21 ^j	0,08 ^v	0,13 ^{ijkl}	0,21 ^c	0,000 ^o	0,01 ^o	2,96 ^l	12,85 ^a	17,16 ^{bc}	17 ^{bc}
Non salée	Initiale	4,1 ^p	4,4 ^m	181 ^x	203 ^s	0,77 ^y	0,75 ^{yz}	1,33 ^w	1,3 ^{wx}	0,07 ⁿ	0,07 ⁿ	11 ^b	11 ^b	0,75 ^r	0,9 ^p	0,15 ^u	0,15 ^u	0,62 ^b	0,02 ^w	0,06 ^j	0,07 ^{ij}	5,46 ^g	3,29 ^k	17 ^{bc}	15 ^{def}
	Biochar	4,21 ^o	4,5 ^l	162,8 ^A	139 ^E	5,21 ^b	1,04 ^u	8,98 ^b	1,81 ^t	0,45 ^a	0,09 ^m	12 ^{ab}	12 ^{ab}	0,75 ^r	1,13 ⁿ	0,15 ^u	0,38 ^r	0,113 ^{no}	0,02 ^w	0,000 ^a	0,043 ^k	0,84 ^D	2,9 ⁿ	16,16 ^{cd}	15 ^{def}
	Compost	4,3 ⁿ	4,7 ^j	172 ^z	150 ^B	1,81 ⁿ	1,8 ⁿ	3,11 ^o	3,39 ⁿ	0,16 ⁱ	0,16 ⁱ	12 ^{ab}	12 ^{ab}	0,88 ^{pq}	0,38 ^u	0,15 ^u	0,45 ^q	0,03 ^{tu}	0,04 ^t	0,043 ^k	0,04 ^{kl}	2,86 ^o	4,14 ⁱ	16 ^{cd}	14 ^{fgh}
	B+C	4,2 ^o	4,6 ^k	202 ^s	143 ^C	1,81 ⁿ	3,68 ^h	3,11 ^o	6,34 ^h	0,16 ⁱ	0,32 ^a	12 ^{ab}	11 ^b	0,91 ^p	0,9 ^p	1,35 ⁱ	0,67 ^p	0,06 ^r	0,04 ^t	0,07 ^{ij}	0,06 ^j	5,21 ^h	3,41 ^j	16 ^{cd}	14 ^{fgh}
	Témoin	4,21 ^o	4,8 ⁱ	184 ^v	143 ^C	3,42 ^j	4,02 ^e	5,90 ^j	6,93 ^e	0,30 ^e	0,35 ^c	12 ^{ab}	11 ^b	0,75 ^r	0,83 ^q	0,15 ^u	0,3 ^s	0,06 ^r	0,04 ^t	0,103 ^h	0,07 ^{ij}	2,43 ^p	2,90 ⁿ	16 ^{cd}	13 ^{hijk}
Selecky																									
Salée	Initiale	5,81 ^b	5,81 ^b	382 ^l	352 ^o	0,72 ^{zA}	0,89 ^x	1,24 ^{wx}	1,53 ^v	0,09 ^m	0,07 ⁿ	13 ^a	12,33 ^{ab}	1,95 ^f	1,51 ^j	1,65 ^g	2,03 ^d	0,14 ^{gh}	0,172 ^{de}	0,21 ^f	0,243 ^e	0,91 ^C	1,15 ^z	9,1 ⁿ	9,1 ⁿ
	Biochar	5,37 ^e	4,81 ⁱ	441 ^g	542 ^b	2,52 ^l	3,76 ^g	4,39 ^l	6,5 ^g	0,23 ^g	0,32 ^d	11,33 ^b	12 ^{ab}	2,48 ^d	1,62 ^{hi}	0,31 ^s	1,35 ⁱ	0,124 ^{klm}	0,12 ^{mn}	0,0133 ^{mno}	0,183 ^g	0,77 ^F	1,21 ^y	11,33 ^{lm}	12,33 ^{ijkl}
	Compost	4,96 ^h	5,51 ^d	482 ^f	425 ⁱ	2,02 ^m	1,54 ^p	3,55 ^m	2,6 ^p	0,18 ^h	0,13 ^{jk}	11,33 ^b	12 ^{ab}	3 ^b	0,47 st	0,37 ^r	1,06 ^k	0,138 ^{hij}	0,113 ^{no}	0,213 ^f	0,073 ^{ij}	1,59 ^w	0,82 ^E	12,66 ^{ijk}	10,5 ^m
	B+C	5,31 ^e	4,81 ⁱ	488 ^e	218 ^r	1,25 ^t	1,25 ^t	2,15 ^s	2,15 ^s	0,11 ^l	0,11 ^l	11,33 ^b	11,33 ^b	1,73 ^g	1,27 ^m	1,71 ^f	2,93 ^a	0,79 ^a	0,18 ^d	0,43 ^a	0,29 ^d	0,47 ^H	0,85 ^D	10,66 ^m	13 ^{hijk}
	Témoin	5,61 ^c	7 ^a	375 ^m	430 ^h	1,42 ^{qr}	1,05 ^u	2,46 ^{qr}	1,81 ^t	0,13 ^{jk}	0,11 ^l	11 ^b	11,33 ^b	1,6 ^{hi}	1,66 ^h	1,81 ^e	1,35 ⁱ	0,21 ^c	0,14 ^{hi}	0,313 ^c	0,18 ^g	0,55 ^G	1,02 ^B	10,33 ^m	10,5 ^m
Non salée	Initiale	5,1 ^g	5,31 ^e	182 ^{wx}	193,3 ^u	0,92 ^w	1,76 ^o	1,6 ^{uv}	3,03 ^o	0,09 ^m	0,16 ⁱ	11,66 ^{ab}	12 ^{ab}	2,54 ^c	4,28 ^a	1,35 ⁱ	1,44 ^h	0,133 ^{ijk}	0,17 ^{de}	0,213 ^f	0,36 ^b	1,12 ^A	0,47 ^H	13 ^{hijk}	12 ^{kl}
	Biochar	4,4 ^m	4,81 ⁱ	173 ^z	183 ^{vw}	0,71 ^{AB}	0,98 ^v	1,22 ^{wx}	1,71 ^{tu}	0,07 ⁿ	0,09 ^m	12,33 ^{ab}	11,66 ^{ab}	1,5 ^j	2,17 ^e	0,24 ^t	0,31 ^s	0,05 ^s	0,1221 ^{mn}	0,063 ^j	0,07 ^{ij}	2,02 ^t	1,41 ^x	16 ^{cd}	12,66 ^{ijk}
	Compost	5,11 ^g	4,61 ^{jk}	151 ^B	198 ^t	1,4 ^r	1,44 ^q	2,43 ^{qr}	2,48 ^{pq}	0,133 ^j	0,12 ^{kl}	11,66 ^{ab}	11,33 ^{ab}	1,51 ^j	0,98 ^o	0,75 ^o	2,33 ^c	0,113 ^{no}	0,15 ^g	0,08 ⁱ	0,223 ^f	1,59 ^w	2,05 ^s	12,1 ^{kl}	13,83 ^{fghi}
	B+C	4,6 ^k	4,91 ^h	198,5 ^t	178 ^y	1,42 ^{qr}	1,25 ^t	2,44 ^{qr}	2,15 ^s	0,133 ^j	0,11 ^l	11,33 ^b	11,33 ^{ab}	1,58 ⁱ	1,35 ^l	0,23 ^t	0,15 ^u	0,126 ^{klm}	0,11 ^o	0,11 ^h	0,063 ^j	1,16 ^z	1,71 ^v	15,33 ^{de}	13,16 ^{ghijk}
	Témoin	4,7 ^j	4,91 ^h	141 ^D	135 ^F	1,36 ^s	0,68 ^B	2,34 ^r	1,18 ^x	0,12 ^{kl}	0,06 ⁿ	12 ^{ab}	11,66 ^{ab}	1,43 ^k	1,58 ⁱ	0,76 ^c	0,83 ⁿ	0,08 ^p	0,17 ^e	0,07 ^{ij}	0,06 ^j	1,75 ^u	2,18 ^r	14,33 ^{efg}	13,33 ^{ghij}

*Au niveau de chaque site, les traitements présentant les mêmes lettres par colonne ne sont pas statistiquement différents (test de Fisher à p<0,05). C%= Pourcentage en Carbone, MO%= Pourcentage en Matière organique, N%= Pourcentage en Azote, Na= Sodium, Ca= Calcium, K= Potassium, P= Phosphore assimilable, Mg= Magnésium, CEC= Capacité d'échange cationique

5.3.3. Effets des amendements organiques sur les paramètres de croissance des plants de riz

5.3.3.1. Taux de survie des plants

Le taux de survie a varié en fonction des sites, des dates d'échantillonnage, des zones et des amendements apportés ($p < 0,05$). A 15 JAR le taux de survie a été de 100% pour tous les traitements quelle que soit la zone ($p > 0,05$). A 60 JAR et 90 JAR, il y'a eu une diminution significative ($p = 0,001$) du taux de survie à Essyl dans la zone salée pour l'ensemble des traitements. Cette diminution est plus importante en 2^{ème} année pour l'ensemble des traitements. Toutefois, les taux de survie les plus importants ont été notés avec les traitements B+C (81,67 ; 66,67%) et le compost (81,67 ; 60,55%) respectivement en 1^{ère} et 2^{ème} année d'expérimentation. Par contre à Selecky, aucune diminution du nombre de plants n'a été notée à l'exception du témoin où l'on note une diminution en 1^{ère} année d'essai.

Tableau 17: Taux de survie des plants en fonction des différents traitements, suivant les dates d'échantillonnage et les années

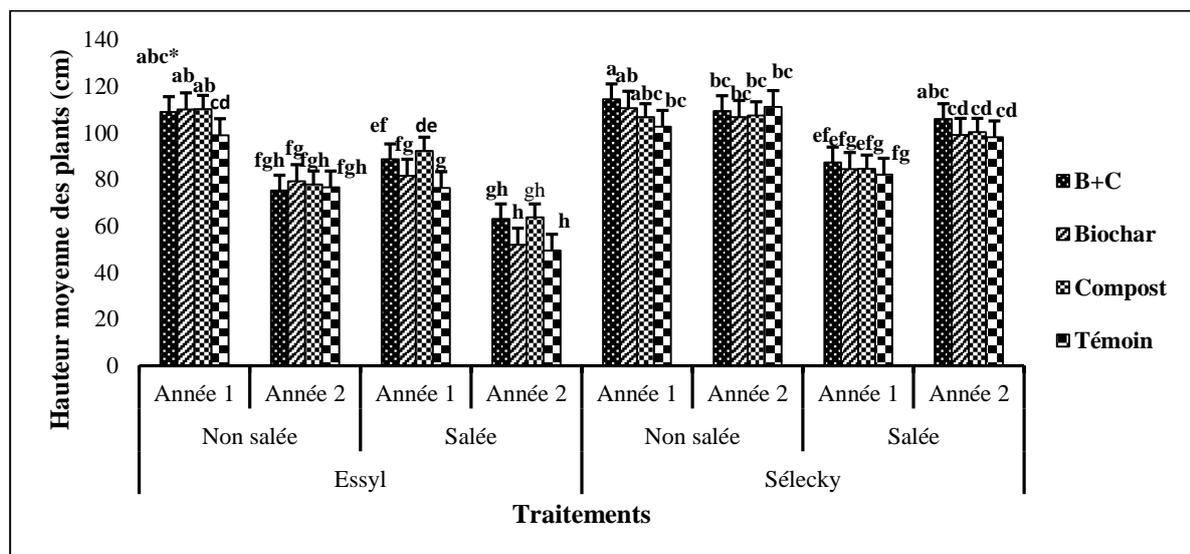
Traitements		Essyl							
		Biochar		Compost		B+C		Témoin	
		Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2
Non salée	15JAR	100 ^{a*}	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
	60JAR	100 ^a	86,67 ^{ab}	100 ^a	86,67 ^{ab}	100 ^a	86,67 ^{ab}	100 ^a	80 ^{bc}
	90JAR	100 ^a	83,33 ^{bc}	100 ^a	81,66 ^b	100 ^a	76,67 ^{bc}	100 ^a	73,33 ^{bcd}
Salée	15JAR	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
	60JAR	66,67 ^{cd}	61,67 ^{cd}	80 ^b	48,33 ^{ef}	81,67 ^b	58,33 ^{de}	53,33 ^{de}	40 ^f
	90JAR	58,33 ^{de}	43,33 ^{ef}	65 ^{cd}	33,33 ^f	75 ^b	41,67 ^{ef}	40 ^f	33,33 ^f
		Selecky							
Non salée	15JAR	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
	60JAR	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
	90JAR	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
Salée	15JAR	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
	60JAR	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	96,67 ^a	100 ^a
	90JAR	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	88,33 ^{ab}	100 ^a

*Au niveau de chaque site, les traitements présentant les mêmes lettres par colonne ne sont pas statistiquement différents (test de Fisher à $p < 0,05$).

5.3.3.2. Variation de la hauteur moyenne des plants

La hauteur moyenne des plants a significativement varié en fonction des zones salées et non-salées pour chaque site ($p < 0,05$). En effet les hauteurs les plus importantes sont mesurées dans la zone non salée sur les deux sites pour l'ensemble des amendements organiques utilisés

comparées au témoin (figure 27). A Essyl, les hauteurs les plus faibles sont mesurées en 2^{ème} année d'expérimentation quels que soient les amendements organiques utilisés (figure 27).

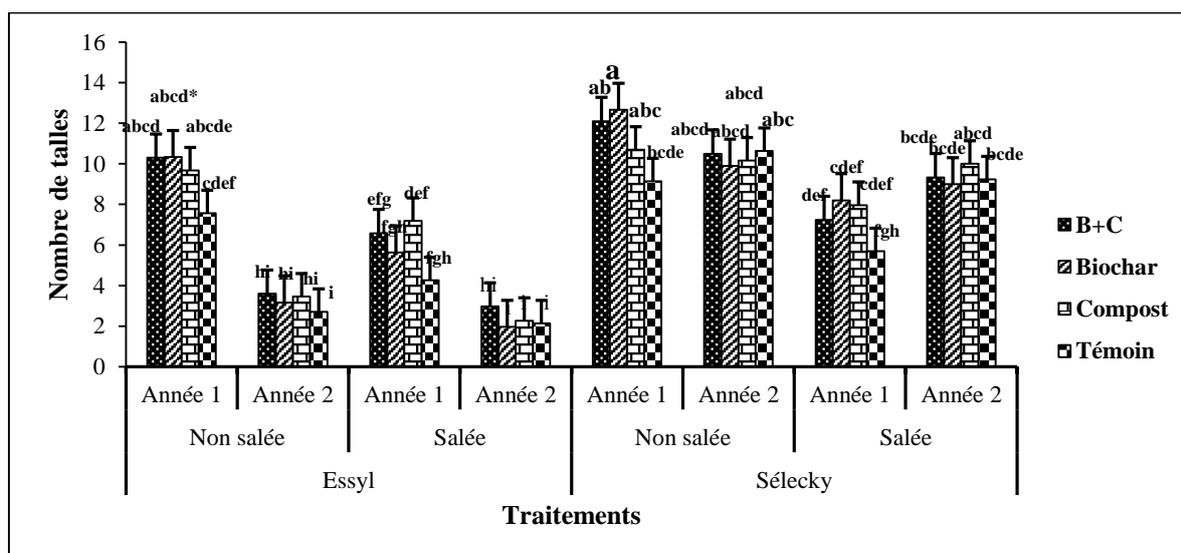


*Les traitements affectés d'une même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil LSD de 5% selon le test de Fisher

Figure 27: variation de la hauteur des plants en fonction des traitements

5.3.3.3. variation du nombre de talles des plants de riz

Le nombre de talles varie selon les sites, les zones, les années et suivant le type d'amendement. Le nombre de talles le plus élevé ($p=0,03$) a été obtenu à Selecky dans les deux zones (salée et non salée) et pour les deux années. A Essyl, il a été plus important dans la zone non salée en 1^{ère} année d'expérimentation. Ce même site d'Essyl a enregistré le nombre de talles le plus faible en 2^{ème} année d'expérimentation. Toutefois les différents amendements organiques apportés n'ont pas impacté positivement le nombre de talles pour les deux sites (figure 28).



*Les traitements affectés d'une même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil LSD de 5% selon le test de Fisher

Figure 28: Variation du nombre de talles en fonction des traitements

5.3.4. Effets des amendements organiques sur les paramètres de production et de rendement du riz

Il existe une différence significative entre les traitements quels que soient la zone et les sites ($p < 0,05$). Les paramètres de production sont significativement ($p < 0,05$) plus importants à Selecky et plus particulièrement dans la zone non salée. Les paramètres de production sont plus élevés pour les traitements aux amendements biochar et B+C comparés au témoin. Ce même constat a été noté à Essyl pour les deux zones. Pour les deux sites, cependant, la production a baissé pendant la 2^{ème} année ($p < 0,05$) comparée à la 1^{ère} année (Tableau 18).

Tableau 18: Effet des amendements organiques sur les paramètres de production dans les zones salée et non-salée pour les deux sites

		Essyl					
Traitements		Nombre panicule		Poids panicule (g)		Poids paddy (g)	
		Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2
Non salée	Biochar	10 ^{cd*}	3 ^{mn}	13,93 ^{abcd}	2,28 ^{hi}	12,46 ^{abc}	2,56 ^{hi}
	B+C	10 ^{cd}	3 ^{mn}	14,48 ^{abcd}	1,26 ⁱ	10,95 ^{abcd}	3,23 ^{ghi}
	Compost	9 ^{cde}	3 ^{mn}	11,75 ^{bcde}	0,9 ⁱ	9,48 ^{bcdef}	2,63 ^{hi}
	Témoin	7 ^{ghij}	2 ^{mn}	9,2 ^{defg}	1,15 ⁱ	7,5 ^{cdefgh}	2,3 ⁱ
Salée	Biochar	5 ^{kl}	2 ^{mn}	6,51 ^{efghi}	0,58 ⁱ	4,91 ^{efghi}	1,73 ⁱ
	B+C	6 ^{ijk}	3 ^{mn}	7,68 ^{efgh}	0,85 ⁱ	6,35 ^{defghi}	2,8 ^{hi}
	Compost	7 ^{ghij}	2 ^{mn}	7,58 ^{efgh}	0,48 ⁱ	5,91 ^{defghi}	1,8 ⁱ
	Témoin	4 ^{lm}	2 ^{mn}	4,08 ^{ghi}	0,36 ⁱ	3,03 ^{hi}	1,66 ⁱ
		Selecky					
Non salée	Biochar	13 ^a	9 ^{cde}	16,73 ^{ab}	8,53 ^{efg}	13,9 ^{ab}	9,26 ^{bcdef}
	B+C	12 ^{ab}	10 ^{cd}	17,58 ^a	11,23 ^{cdef}	14,86 ^a	9,76 ^{bcdef}
	Compost	11 ^{bc}	10 ^{cd}	15,11 ^{abc}	10,75 ^{cdef}	12,05 ^{abc}	9,46 ^{bcdef}
	Témoin	9 ^{cde}	10 ^{cd}	15,58 ^{abc}	10,95 ^{cdef}	11,86 ^{abc}	10,16 ^{bcde}
Salée	Biochar	8 ^{defgh}	8 ^{defgh}	7,86 ^{efgh}	5,43 ^{fghi}	6,11 ^{defghi}	8,06 ^{cdefg}
	B+C	7 ^{ghij}	9 ^{cde}	7,98 ^{efgh}	4,41 ^{ghi}	6,21 ^{defghi}	9,03 ^{bcdef}
	Compost	8 ^{defgh}	9 ^{cde}	6,23 ^{efghi}	4,63 ^{ghi}	4,81 ^{fghi}	9,5 ^{bcdef}
	Témoin	5 ^{kl}	8 ^{defgh}	7,4 ^{efgh}	5,78 ^{efghi}	6,05 ^{defghi}	8,83 ^{bcdef}

*Au niveau de chaque site, les traitements présentant les mêmes lettres par colonne ne sont pas statistiquement différents (test de Fisher à $p < 0,05$).

5.3.4.1. Variation des paramètres de rendement

Le rendement a significativement augmenté pour les traitements avec apport d'amendements organiques dans la zone salée et non-salée pour les deux sites ($p < 0,05$, Tableau 19). En effet les traitements avec biochar, compost et B+C ont donné les biomasses les plus importantes à Essyl mais aussi à Selecky dans les deux zones. Pour le rendement du riz paddy, les traitements

avec le biochar et le B+C ont donné de meilleurs rendements pour l'ensemble des sites et pour les deux zones (Tableau 19).

Tableau 19: Effet des amendements organiques sur les paramètres de rendement dans les zones salée et non-salée pour les deux sites

Essyl											
Traitements	BT(g)		BA (g)		BR (g)		Masse 1000g		Rdt paddy (t/ha)		
	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	
Non salée	Biochar	26,38 ^{bcd^e*}	17,06 ^{de}	19,75 ^{bcd^e}	11,26 ^{de}	6,63 ^{cd}	1,8 ^{gh}	27,30 ^{abc}	24,14 ^{cdefgh}	2,49 ^{abcde}	0,77 ^{ghi}
	B+C	26,83 ^{bcd^e}	11,93 ^e	18,76 ^{cde}	9,58 ^{de}	8,06 ^c	2,35 ^{fgh}	27,4 ^{ab}	21,41 ^{fghi}	2,19 ^{cdefg}	0,57 ^{hi}
	Compost	22,83 ^{cde}	12,1 ^e	16,28 ^{cde}	10,56 ^{de}	6,55 ^{cd}	1,53 ^h	28,28 ^a	23,85 ^{defgh}	1,89 ^{cdefgh}	0,31 ⁱ
	Témoin	22,38 ^{cde}	12,93 ^e	16,5 ^{cde}	11,03 ^{de}	5,88 ^{cde}	1,9 ^{gh}	27,19 ^{abc}	25,04 ^{abcde}	1,5 ^{defghi}	0,41 ⁱ
Salée	Biochar	3,88 ^e	7,95 ^e	2,96 ^e	6,36 ^e	0,91 ^h	1,59 ^h	24,56 ^{bcd^{efg}}	21,5 ^{fghi}	0,983 ^{fghi}	0,25 ⁱ
	B+C	14,65 ^e	10,06 ^e	11,28 ^{de}	8,71 ^{de}	3,36 ^{defgh}	1,35 ^h	24,66 ^{bcd^{ef}}	21,33 ^{ghi}	1,2 ^{efghi}	0,38 ⁱ
	Compost	6,18 ^e	6,86 ^e	4,21 ^e	5,74 ^e	1,96 ^{gh}	1,11 ^h	25,98 ^{abcd}	19,92 ⁱ	1,183 ^{efghi}	0,24 ⁱ
	Témoin	5,33 ^e	3,61 ^e	4,25 ^e	3 ^e	1,08 ^h	0,61 ^h	21,98 ^{efghi}	19,93 ⁱ	0,607 ^{hi}	0,13 ⁱ
Selecky											
Non salée	Biochar	20,06 ^{cde}	35,6 ^{abcd}	17,6 ^{cde}	31,87 ^{abc}	2,46 ^{fgh}	3,73 ^{defgh}	28,01 ^a	27,45 ^{ab}	2,78 ^{abcd}	2,95 ^{abc}
	B+C	21,15 ^{cde}	41,93 ^{ab}	18,35 ^{cde}	36,37 ^a	2,8 ^{efgh}	5,56 ^{cdef}	27,63 ^{ab}	27,76 ^{ab}	2,973 ^{abc}	3,72 ^a
	Compost	18,2 ^{de}	44,35 ^{ab}	15,86 ^{cde}	38,8 ^a	2,33 ^{fgh}	5,55 ^{cdef}	27,73 ^{ab}	27,32 ^{abc}	2,41 ^{bcdef}	3,59 ^{ab}
	Témoin	19,9 ^{cde}	38,95 ^{abc}	17,5 ^{cde}	34,05 ^{ab}	2,4 ^{fgh}	4,9 ^{defgh}	28,12 ^a	28,22 ^a	2,373 ^{bcdef}	3,17 ^{abc}
Salée	Biochar	12,96 ^e	53,18 ^a	9,36 ^{de}	34,01 ^{ab}	3,6 ^{defgh}	19,16 ^a	21,04 ^{hi}	21,77 ^{fghi}	1,223 ^{efghi}	2,13 ^{cdefg}
	B+C	12,33 ^e	48 ^a	8,88 ^{de}	28,98 ^{abc}	3,45 ^{defgh}	19,01 ^a	23,39 ^{defgh}	25,48 ^{abcd}	1,243 ^{efghi}	2,05 ^{cdefg}
	Compost	11,33 ^e	45,08 ^{ab}	8,55 ^{de}	26,03 ^{abcd}	2,78 ^{efgh}	19,05 ^a	21,15 ^{hi}	23,67 ^{defgh}	0,963 ^{fghi}	1,91 ^{cdefgh}
	Témoin	11,56 ^e	41,4 ^{ab}	8,15 ^{de}	25,91 ^{abcd}	3,41 ^{defgh}	15,48 ^b	21,85 ^{efghi}	23,67 ^{defgh}	0,963 ^{fghi}	2,05 ^{cdefg}

*Au niveau de chaque site, les traitements présentant les mêmes lettres par colonne ne sont pas statistiquement différents (test de Fisher à $p < 0,05$).

5.3.5. Corrélation entre les éléments physico-chimiques du sol et les paramètres du riz dans les deux sites en fonction de l'apport d'amendements organiques

La combinaison des deux axes de l'analyse en composantes principales (ACP) explique 72,92% de la variance. Suivant les axes, la figure 29 peut être subdivisée en trois (3) groupes. Les paramètres comme le Mg^{2+} , le Na^+ , le PSE, le S, le K^+ , le pH, le Ca^{2+} , l'argile, limons fins et le sable fin situés du côté des abscisses positives (axe 1) sont plus corrélés au traitement biochar et compost combinés, B+C (Figure 29). Ce qui signifie que les valeurs de ces paramètres sont plus importantes pour ce traitement comparé aux autres traitements. Ces traitements ont donné les biomasses racinaires les plus importantes. Il en est de même pour le carbone, le phosphore du sol, le rapport C/N, la CEC, la matière organique (MO) et l'azote (N) qui sont tous situés du côté de l'abscisse négative et qui sont plus corrélés avec les traitements biochar seul et compost seul. Cependant malgré leur importance, ces paramètres n'ont pas permis une meilleure croissance des plants de riz. Il faut également noter que la CE (conductivité électrique) caractérisant la zone salée est plus proche de l'axe des ordonnées. La salinité a des effets négatifs sur la croissance et le rendement du riz. Enfin l'ensemble des paramètres agro morphologiques (hauteur, nombre de talles, taux de survie, nombre de panicule, masse paddy, masse des 1000 graines et le rendement) ont été plus importants dans la zone non salée du site de Selecky.

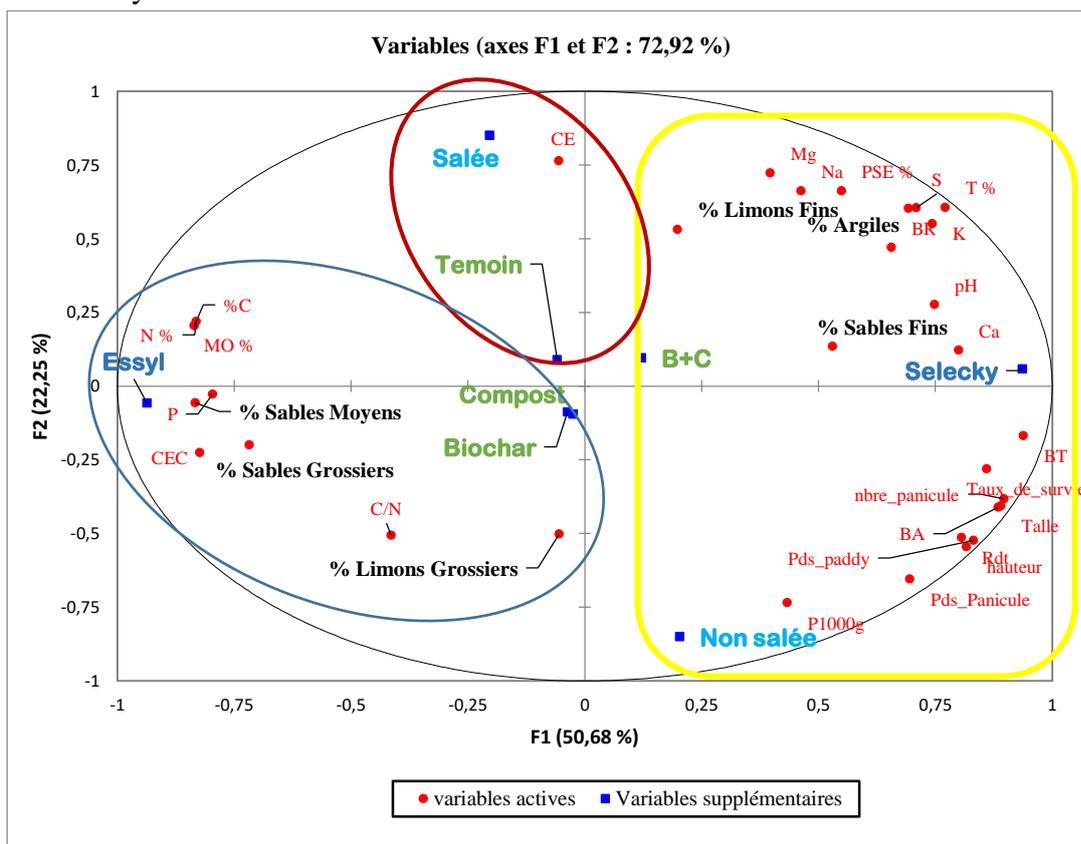


Figure 29: Corrélation entre les paramètres du riz, les paramètres du sol (Physique et chimique) et les amendements organiques

5.3.6. Effets des amendements organiques sur la diversité floristique des herbacées

5.3.6.1. Richesse spécifique par site, par zone en fonction des amendements organiques

Le suivi de la strate herbacée pendant deux ans dans les bas-fonds situés dans la commune d'Enampore a permis de montrer que la diversité spécifique varie d'un site à un autre, d'une zone à une autre et suivant les amendements organiques apportés. Ainsi le plus grand nombre d'espèces a été identifié à Essyl (21 espèces) alors que celle de Selecky recèle la richesse spécifique la plus faible (19 espèces). Suivant les deux zones salée et non-salée et pour les deux sites, nous notons que les espèces sont plus fréquentes dans la zone non salée (21 espèces) contre 16 espèces dans la zone affectée par le sel. Enfin les amendements organiques ont aussi influencé la richesse spécifique des espèces herbacées. Ainsi les espèces sont plus fréquentes dans les parcelles ayant reçu le traitement B+C (23 espèces) et diminue avec les autres traitements (21 espèces) (Tableau 20). Au total 24 espèces ont été recensées entre les différents sites et se répartissent en 22 genres appartenant à 11 familles (Tableau 21).

Tableau 20: Richesse spécifique suivant les sites, les zones salée et non-salée et en fonction des amendements organiques

		Richesse spécifique
Sites	Selecky	19
	Essyl	21
Zones	Salée	16
	Non salée	21
Amendements organiques	Biochar	21
	Compost	21
	B+C	23
	Témoin	21

5.3.6.2. Proportion des familles d'adventices répertoriées

La composition floristique du site d'étude est résumée dans le tableau 21. Il ressort de ce tableau que la zone est riche de 24 espèces herbacées, réparties en 22 genres et 11 familles. Les familles les plus représentées sont les Cypéracées (6 espèces), les Poacées (6 espèces), les Malvacées (3 espèces), les Fabacées (2 espèces) et les Convolvulacées (2 espèces). Les autres familles sont représentées par une seule espèce. Enfin les familles les mieux représentés sont les Acanthacées, les Nymphaeacées, les Phyllanthacées, les Rubiacées et les Sterculiacées avec chacune 01 genre et 01 espèce (Tableau 21). Par rapport à la structure, nous notons que les dicotylédones représentent les familles les plus importantes comparées aux monocotylédones. Cependant une répartition équitable du genre et des espèces est notée pour les deux classes (Tableau 22).

Tableau 21: Proportion des familles d'adventices répertoriées

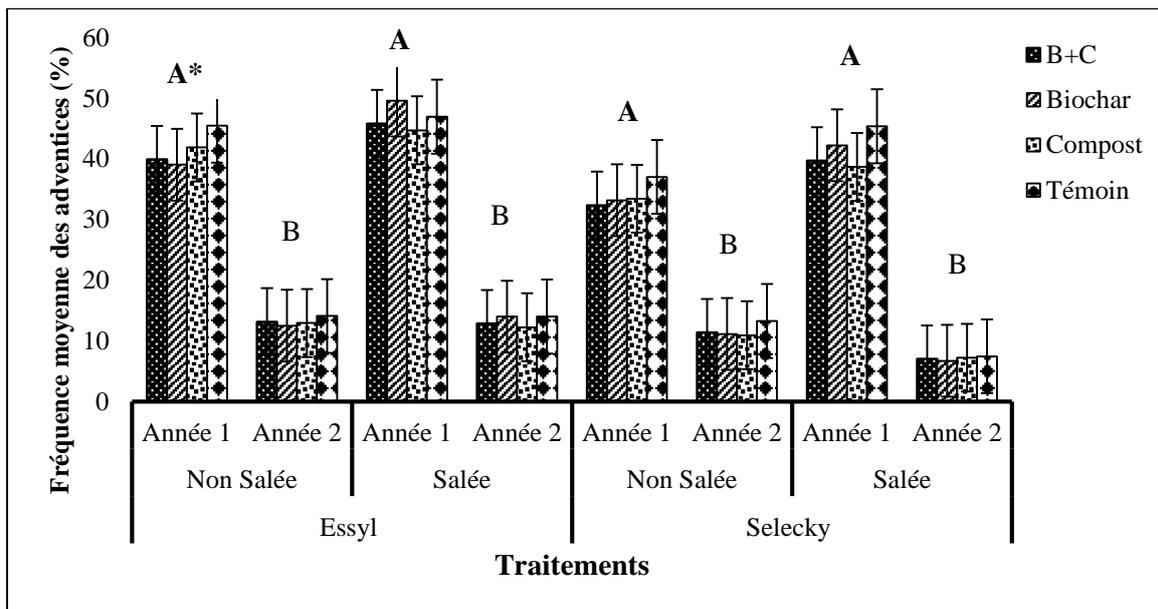
Familles	Nombre de genre	%	Nombre d'espèces	%
<i>Poaceae</i> (M)	6	27	6	25
<i>Cyperaceae</i> (M)	5	27	6	25
<i>Malvaceae</i> (D)	2	9	2	8,33
<i>Fabaceae</i> (D)	2	9	2	8,33
<i>Convolvulaceae</i> (D)	1	4	2	8,33
<i>Acanthaceae</i> (D)	1	4	1	4,17
<i>Nymphaeaceae</i> (D)	1	4	1	4,17
<i>Phyllanthaceae</i> (D)	1	4	1	4,17
<i>Rubiaceae</i> (D)	1	4	1	4,17
<i>Sterculiaceae</i> (D)	1	4	1	4,17
<i>Amaranthaceae</i> (D)	1	4	1	4,16
Total	22	100	24	100

Tableau 22: Structure de la flore

Embranchement	Classe	Familles		Genres		Espèces	
		N	%	N	%	N	%
	Dicotylédones	9	81,82	11	50	12	50
	Monocotylédones	2	18,18	11	50	12	50
Total		11	100	22	100	24	100

5.3.6.3. Effet des traitements sur la fréquence des adventices

La figure 30 présente la variation de la fréquence des adventices inventoriées en fonction des amendements organiques, des sites, des zones et suivant les années. L'analyse de cette figure nous montre que la fréquence des adventices diminue en fonction des années d'expérimentations. En effet les fréquences les plus importantes ont été obtenues en 1^{ère} année d'expérimentation quels que soient le site, la zone et les différents amendements organiques apportés. Les amendements organiques apportés n'ont pas eu d'effet significatif ($p > 0,05$) sur la fréquence des adventices quelle que soit l'année d'expérimentation.

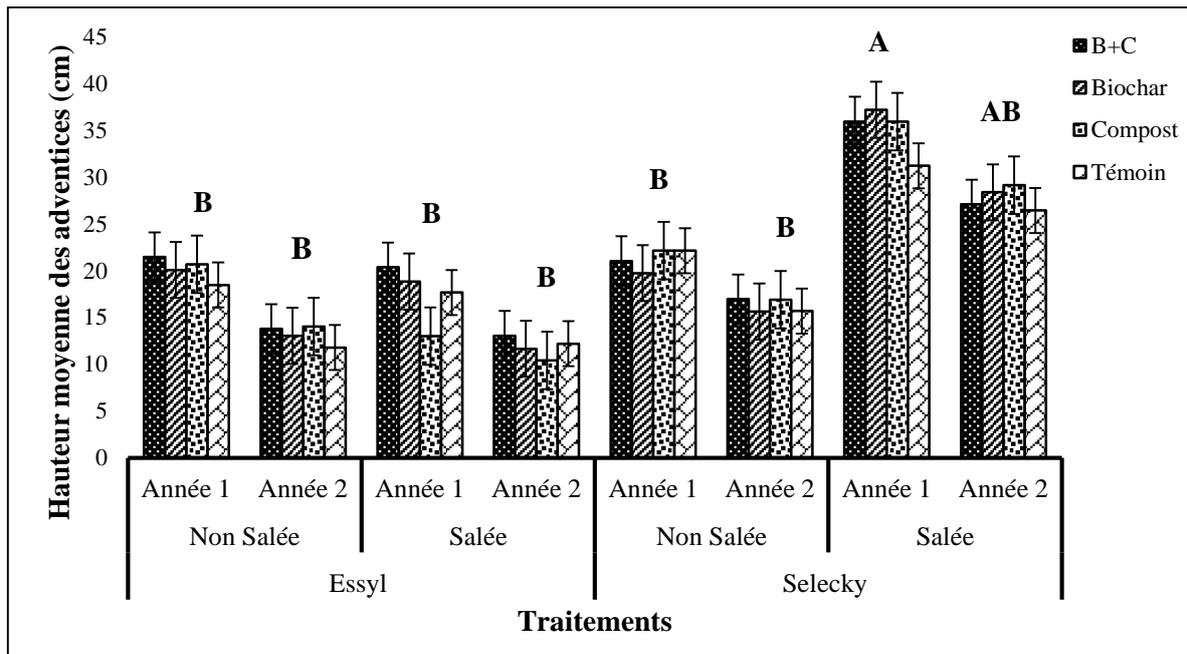


*Les traitements affectés d'une même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil LSD de 5% selon le test de Fisher

Figure 30: Variation de la fréquence des adventices inventoriées en fonction des amendements organiques, des sites, des zones et suivant les années.

5.3.6.4. Hauteur moyenne des adventices

La hauteur moyenne des adventices en fonction des amendements organiques, des sites, des zones et des années est représentée par la figure 31. La hauteur moyenne des adventices a globalement baissé suivant les années d'expérimentations ($p < 0,05$). Ainsi cette diminution est aussi fonction de la zone et des sites ; les hauteurs les plus importantes ont été mesurées dans la zone salée à Selecky en 1^{ère} année. Pour les différents amendements organiques utilisés, aucune différence significative n'est notée pour ce paramètre. Ce qui nous laisse dire que les amendements organiques n'ont pas eu d'effet significatif sur la hauteur des adventices.



*Les traitements affectés d'une même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil LSD de 5% selon le test de Fisher

Figure 31: Variation de la hauteur moyenne des adventices en fonction des amendements organiques, des sites, des zones et suivant les années.

5.3.6.5. Recouvrement des adventices

Le taux de recouvrement moyen des adventices en fonction des amendements organiques, des sites, des zones et des années est représenté par la figure 32. Selon l'analyse des données, ce taux varie en fonction des années et des sites ($p < 0,05$). Ainsi les taux les plus importants ont été obtenus dans la zone non salée à Essyl. Par contre les plus faibles ont été obtenus à Selecky dans la zone salée. Les amendements organiques n'ont eu aucun effet significatif sur le taux de recouvrement des adventices quels que soient les sites, les zones et les années d'expérimentations ($p > 0,05$).

Tableau 23: Variation de la diversité et de l'abondance des espèces en fonction de l'année, du sites, zones et des différents amendements organiques

	Shannon-Weaver (H') en Bits		Equitabilité de Pielou (E)		Bêta
Sites					
	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	
Selecky	2,06a*	1,92a	0,70b	0,69a	0,8
Essyl	2,44a	2,05a	0,80a	0,72a	
Probabilité	0,33	0,37	0,001	0,07	
Zones					
Salée	1,75b	1,64b	0,63b	0,60b	0,59
Non Salée	2,43a	2,06a	0,80a	0,71a	
Probabilité	0,001	0,01	0,001	0,01	
Traitements					
Compost	2,64a	2,38a	0,86a	0,80a	
Biochar	2,57a	2,30a	0,85a	0,79a	
B+C	2,57a	2,36a	0,81a	0,78a	
Témoin	2,55a	2,34a	0,83a	0,79a	
Probabilité	0,07	0,07	0,06	0,06	

*Sur une même colonne, les valeurs avec des lettres différentes sont significativement différentes à P < 0,05 selon le test de Fisher (LSD)

Tableau 24: Effet des amendements organiques sur l'indice de dissimilarité

Indice Beta	Témoin	Compost	Biochar	B+C
Témoin	0	0,95	1	0,95
Compost		0	0,95	0,9
Biochar			0	0,95
B+C				0

5.4. Discussion

5.4.1. Caractéristiques physiques des sols et effets des amendements organiques sur les propriétés chimiques du sol

La texture sablo-limoneuse des sols d'Essyl a été associée à une faible teneur en bases échangeables en particulier le Ca²⁺, K⁺, et, pour les sols argilo-limoneux de Selecky à une saturation en bases échangeables (Ca²⁺, K⁺, Mg). Selon Mbaikoubou et *al.* (2021), la faible teneur en bases échangeables des sols constitués presque exclusivement de sables squelettiques s'expliquerait par la maturité plus avancée de ces sols. Ce phénomène est plus perceptible dans les dépressions. A Essyl, les sols ont été plus sableux qu'à Selecky. S'y ajoute, les teneurs en N, P, matière organique, C, le rapport C/N, la CEC ainsi que la salinité (EC) ont été les plus

élevés pour les sols amendés avec le biochar et le compost comparés aux sols de Selecky. Malgré ces éléments importants notés en zone salée, leur influence sur la croissance des plantes a été limitée. Les travaux de Munns et *al.* (2006) ont montré que l'excès de sel dans le sol entraîne une baisse de la disponibilité des nutriments pour les plantes. Ces éléments chimiques sont plus faibles dans les bas-fonds situés à Selecky.

5.4.2. Effet des amendements organiques sur la survie des plants de riz et les paramètres de croissance

Globalement la salinité a eu des effets négatifs sur le taux de survie des plants dans la zone salée, plus particulièrement à Essyl. En effet, la mortalité notée dans la zone salée pourrait être due à la non-disponibilité d'éléments nutritifs pour les plantes. Selon Munns et *al.*, (2006) et Kémassi (2011), l'excès de sel dans le sol entraîne une baisse de la disponibilité des nutriments pour les plantes et conduit ainsi à leur mortalité. Ces mêmes résultats ont été aussi obtenus par Diatta et *al.* (2019). Ces derniers ont noté une mortalité des plants durant le stade tallage mais aussi avant la récolte. Ce même constat a été aussi fait par Faye (2016) qui a noté une mortalité des plants de riz au stade plante suite à l'augmentation du taux de sel dans le milieu. Dans la plupart des cas, le riz devient particulièrement sensible à la salinité au stade plantule (NdT et Samb, 2007; Ouhaddach et *al.*, 2016).

5.4.3. Effet des amendements organiques sur les paramètres de production et de rendement du riz

Notre étude a montré que sur l'ensemble des paramètres étudiés (croissance et rendement), les amendements organiques utilisés ont une influence significative dans la zone non salée. Les traitements avec biochar, compost et B+C ont impacté significativement la hauteur, le nombre de talles et les rendements pour l'ensemble des sites d'étude. Cette différence pourrait être liée à la disponibilité d'éléments nutritifs. En effet les amendements organiques tels le biochar et le compost sont riches en éléments nutritifs. Ainsi leur ajout dans des sols permettrait d'améliorer la nutrition des plantes. Le biochar augmenterait la disponibilité du phosphore pour les plantes dans le sol (Zanutel et *al.*, 2019). Selon Steiner et *al.* (2008) l'ajout de biochar aux sols change leurs propriétés microbiologiques. Ce biochar constitue d'ailleurs un habitat privilégié pour les micro-organismes du sol et sa présence réduirait les pertes d'azote (Steiner et *al.*, 2008) ; ce qui est très intéressant pour l'amélioration des sols tropicaux. Ainsi, plusieurs études ont montré une augmentation du rendement agricole suite à l'ajout de biochar à court terme (Rogovska et *al.*, 2014; Agegnehu et *al.*, 2015; Liu et *al.*, 2016) et à long terme (Kerré et *al.*, 2017). Il a été suggéré que l'association de compost avec du biochar pourrait être bénéfique pour la fertilité

des sols. Toutefois, une application de 7 t.ha⁻¹ de biochar en association avec de l'engrais minéral ou du lombricompost (20 t.ha.an⁻¹) au pied des plantes n'a pas augmenté significativement les rendements de maïs.

Nos résultats ont montré également que la fréquence, la hauteur et le taux de recouvrement des espèces herbacées sont plus importants en 1^{ère} année d'expérimentation. Celle-ci pourrait être due à la pluviométrie importante (2203,6 mm) notée durant cette période. Toute fois une diminution de l'ensemble de ces paramètres a été notée en 2^{ème} année due principalement à la faible pluviométrie (1168,5 mm) notée. Ces résultats corroborent ceux de Lobell et Field (2007) qui ont rapporté que le principal facteur limitant pour la production du riz pluvial est la pluviométrie. Panthou et al. (2018), ont démontré que les rendements de riz ont baissé de 2,9 t.ha⁻¹ en 2010 à 1,1 t.ha⁻¹ en 2013 (soit une baisse de 164%) du fait du retard du début des pluies et de la baisse de la pluviométrie. Généralement les changements climatiques ont un effet négatif sur la riziculture de bas-fonds d'une manière ou d'une autre (Tahirou et al., 2022).

5.4.4. Effet des amendements organiques sur la diversité floristique des herbacées

Les familles les plus représentées sont les *Poaceae* et les *Cyperaceae* suivie de celles des *Fabaceae*. Ces résultats corroborent ceux de Mballo et al., (2018) qui, dans leur étude ont trouvé que les espèces de la famille des *Poaceae* et des *Cyperaceae* sont les plus représentées dans les rizières irriguées situées dans la vallée du fleuve Sénégal. La même tendance a été obtenue avec les travaux de Yoka et al. (2013) et de Tatila et al. (2017). Selon Kouassi et al. (2014) et Diallo et al. (2015), la forte proportion des *Poaceae* et des *Cyperaceae* dans cette zone peut s'expliquer par le fait que ces taxons possèdent une très grande possibilité de tallage et une grande vitesse de repousse après broutage lorsque les conditions du milieu sont favorables. Aussi, sont-elles résistantes aux aléas climatiques et sont rarement atteintes par les maladies. Saidou et al. (2010) et Ousseina et al. (2013) ajoutent que les graminées résistent aux différentes perturbations et elles développent des stratégies leur permettant de se maintenir et de se développer dans un environnement perturbé. Enfin Noba (2002); Bassène et al. (2012) ont montré que cette dominance de ces familles s'expliquerait par leur aire de répartition sahélienne et par leur aptitude à s'adapter aux biotopes perturbés par les activités agricoles. De manière générale les amendements utilisés n'ont pas eu d'effet significatif sur la présence des adventices. Ces résultats sont en phase avec les études de Ka et al. (2019) qui ont montré que l'apport de fertilisations (organique et minérale) n'ont pas d'effet positif sur la densité des mauvaises herbes en culture associée avec l'arachide. Durant et Kerneis (2015) ont montré que le nombre d'espèces et la diversité dans une prairie de fauche en marais charentais ont progressivement

diminué avec les doses de fertilisation. Cette variabilité spécifique en fonction des niveaux de fertilisation a aussi été notée dans les systèmes de culture en France (Guay, 2012). En effet, le nombre d'espèces dans les parcelles à bas niveaux d'intrant est presque deux fois plus important que dans les systèmes conventionnels. L'analyse a aussi montré une grande variabilité des espèces inventoriées d'une année à l'autre avec une fréquence importante notée en 1^{ère} année et qui pourrait être liée aux records de précipitations enregistrées au cours de cette année. En effet, 2203,6 mm de pluie ont été enregistrés en 2020 au cours de 81 jours pluvieux alors que l'année 2021 a enregistré 1168,5 mm de pluie au cours de 66 jours pluvieux et que la normale climatique des 30 dernières années est de 1191 mm de pluie. Selon Noba, (2002), En zone tropicale, la plupart des inhibitions à la germination sont supprimées lorsque le sol est suffisamment humide et les graines bien imbibées, contrairement aux conditions de stress hydrique.

La baisse de l'indice de Shannon notée dans la zone affectée par le sel pourrait être attribuée à l'effet du sel sur les herbacées. Ces résultats sont en phase avec les travaux de Djighaly et al. (2020) qui ont noté une diminution de l'indice de diversité de Shannon suivant le gradient de salinité. Les travaux de Greiner La Peyre et al. (2001) ont montré une diminution des espèces végétales en fonction du gradient de salinité. Les valeurs faibles de l'équitabilité dans la zone salée, indiquent une mauvaise répartition des individus entre les différentes espèces, et ce, pour le site de Selecky dans la zone salée.

5.5. Conclusion

L'étude de l'effet des amendements organiques, biochar et compost sur le développement et la production du riz *Oryza sativa* L et la diversité floristique des herbacées dans les bas-fonds affectés par la salinité a permis de noter que la salinité a eu un effet négatif sur le taux de survie des plants quel que soit le type d'amendements organiques dans la zone de Essyl en 1^{ère} et en 2^{ème} année d'expérimentation. Les pH sont généralement acides pour l'ensemble des sites et zones aussi bien en 1^{ère} qu'en 2^{ème} année d'expérimentation. Dans la zone salée, les apports de compost ou de biochar ont augmenté significativement le nombre de talles et la hauteur des plants de riz comparés aux témoins. Ces mêmes amendements ont aussi augmenté la biomasse aérienne en zone salée avec des valeurs plus importantes à Selecky dans toutes les deux zones. Les plants des rizières amendés dans la zone salée du site de Selecky ont été plus tolérants à la salinité. Les amendements organiques apportés n'ont eu aucun effet significatif sur la composition et la diversité des espèces herbacées. Les familles les plus représentatives sont les *Poaceae* (25%) et les *Cyperaceae* (25%) dans les deux sites. La flore est composée de 24 espèces, répartis-en 22 genres et 11 familles. La composition floristique de Essyl est plus riche

(21 espèces) que le site de Selecky (19 espèces) avec une zone non-salée plus riche (21 espèces) que celle salée (16 espèces) à Essyl.

CHAPITRE 6 : DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE

6.1. Discussion générale

En Basse Casamance, les sols des rizières subissent de fortes dégradations, se traduisant par des pertes de biodiversité, d'épuisement du stock organique et des nutriments, et une diminution de la productivité agricole. Les principales causes de cette dégradation sont liées à la variabilité climatique, telles que la salinisation, la toxicité ferreuse et faible répartition des pluies (Nikiéma et al., 2022). Ainsi, tester des solutions innovantes et respectueuses de l'environnement, s'avère crucial pour le maintien de la fertilité des sols, et pour accroître les rendements agricoles des producteurs. Cette recherche entreprise va contribuer à améliorer la production rizicole avec l'adoption des différentes stratégies de récupération des sols salins. Ces différentes stratégies reposent principalement sur l'utilisation d'amendements organiques et de champignon mycorhizien (*Glomus mosseae*). Ce travail a porté sur l'étude de l'effet des amendements organiques sur la diversité des herbacées, sur les propriétés physico-chimiques et sur le rendement du riz en zone salée. Ainsi pour atteindre ces objectifs, plusieurs méthodologies ont été mises en œuvre et adoptées dans différents sites (Selecky et Essyl). Pour améliorer la fertilité du sol et la croissance des plants de riz, nous avons déterminé les différents amendements organiques qui ont eu le plus d'effet sur la production du riz en Basse Casamance où la salinisation des terres est très importante. Ensuite, nous avons évalué l'effet combiné de l'inoculation mycorhizienne et des amendements organiques pour améliorer la croissance et la résilience des plants dans les sols salés. Dans le but de comprendre l'effet des amendements organiques sur la diversité spécifique des herbacées, nous avons fait un inventaire des herbacées dans la zone salée et non salée ; nous avons comparé la diversité et calculé également les indices de diversité dans chaque zone et pour chaque site. Cette partie est suivie de celle traitant de l'effet des amendements organiques sur les propriétés physico-chimiques du sol. Pour cela, nous avons effectué différents prélèvements de sol à différentes profondeurs. Ces sols ont été analysés et leurs propriétés physico-chimiques comparées. Pour comprendre les effets des amendements organiques et du champignon mycorhizien sur le développement et le rendement du riz, nous avons mené d'abord une étude en milieu semi contrôlé et ensuite, une étude en milieu paysan durant deux années. Enfin une étude sur la structure et la composition floristique des peuplements ligneux suivant les types d'occupation du sol a été aussi effectuée. Par conséquent, les activités de recherche ont été élaborées afin de résoudre certaines contraintes liées à la faible fertilité des sols. Ainsi l'étude a confirmé l'influence positive de certains

amendements organiques sur les paramètres de croissance et la productivité du riz pluvial en zone salée.

6.1.1. Quelles stratégies d'adaptation adopter pour minimiser l'effet du sel sur le sol et la production de riz ?

La salinisation des terres est de nos jours un phénomène mondial. Elle est devenue une préoccupation majeure des producteurs dans la commune d'Enampore, car ce phénomène est à l'origine de la dégradation des sols essentiellement de bas-fonds et a entraîné la baisse des rendements rizicoles. Face à l'amplification de ce phénomène de salinisation et la baisse considérable des rendements, des stratégies d'adaptation ont été mises en place afin de réhabiliter les terres affectées. Les stratégies d'adaptation correspondent à l'ensemble des comportements, aménagements, activités qu'adopte un individu, une communauté ou toute autre espèce pour s'ajuster à son environnement. Selon Brunet et *al.*, (1998) l'adaptation est considérée comme une qualité élémentaire des plantes et des animaux pour leur survie et leur production. Face à la forte baisse des rendements en riz due à la dégradation des terres rizicoles par la salinisation, les populations de la commune d'Enampore ont adopté des stratégies afin de satisfaire leur besoin alimentaire. Ainsi la mise en place d'ouvrages (digue moderne et digue traditionnelle) et l'adoption des pratiques agricoles (apport d'amendements organiques, le labour par le billonnage et le développement de plants en pépinière) sont les tentatives de réponse à la salinisation.

6.1.2. Structure et composition floristiques des espèces ligneuses suivant les types d'occupation de sol

L'étude de la diversité et de la structure des espèces ligneuses dans la commune d'Enampore a contribué à la compréhension de leur répartition en fonction de la typologie de l'utilisation des terres. Cette diversité est tributaire de la zone écologique et aux modes de gestion appliqués aux peuplements ligneux. La végétation ligneuse de la plupart est menacée par les actions combinées de la péjoration climatique et des facteurs anthropiques (Massaoudou et *al.*, 2015). Ainsi, il est ressorti des résultats que le cortège floristique de la zone est riche de 33 espèces appartenant à 31 genres relevant de 18 familles botaniques. Cependant la zone est moyennement riche en espèces. La diversité de ces espèces varie en fonction des types d'occupation de sol. Les indices de diversité (Shannon et Menhinick) viennent confirmer la faible richesse dans cette zone et suivant les types d'occupation. Ces indices sont plus importants dans les plateaux. Cependant ils sont plus faibles au niveau des bas-fonds cultivés, des bas-fonds non cultivés et

surtout dans les tannes. Ces faibles indices notés dans les bas-fonds non cultivés et dans les tannes seraient dus à l'effet négatif du sel sur la végétation ligneuse. Dans ces types d'occupation de sol (bas-fonds cultivés, bas-fonds non cultivés et les tannes), le taux de salinité varie de 292 à 6479,75 $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$. Cette salinité aurait des effets néfastes sur les espèces végétales. Thiam et al., (2020) ont noté un effet dépressif de la salinité sur la diversité floristique. Les espèces végétales sont plus représentées dans les plateaux et plus faibles dans les bas-fonds non cultivés, les bas-fonds cultivés et les tannes. Celle-ci s'expliquerait du fait que dans les plateaux les espèces sont conservées par les producteurs. Les structures verticales et horizontales des espèces végétales ont été analysées. Ces structures ont une allure en « J renversé » et asymétrique positive ou asymétrique droite typique respectivement d'un peuplement multi spécifique ou inéquien et mono spécifiques avec prédominance d'individus jeunes ou de faible diamètre. Les agriculteurs pourraient conserver et restaurer la fertilité des sols grâce à l'utilisation d'arbres, ainsi qu'à l'utilisation d'amendements organiques disponibles, conformément aux aspects de durabilité.

6.1.3. L'association amendements organiques et champignons mycorhizien : une approche pour améliorer le rendement du riz en présence de sel

Dans notre étude, nous avons d'abord cherché à sélectionner le type d'amendements organiques en association avec l'inoculum microbien qui permet la meilleure croissance des plants en conditions de stress salin. Nos résultats ont montré que l'inoculation mycorhizienne avec le *Glomus mosseae* associé aux amendements organiques a les mêmes effets similaires que l'amendement organique seul sur les paramètres de croissance (hauteur et nombre de talles) et de production (biomasse aérienne et racinaire) du riz quelle que soit la dose de sel apportée. Toutefois, les meilleurs résultats ont été toujours obtenus avec les traitements Compost, Compost+G1, B+C et B+C+G1 pour l'ensemble des paramètres collectés. Ces résultats s'expliquent par la forte teneur en éléments minéraux de ces amendements organiques utilisés. Mukendi et al. (2017a) ont montré que la matière organique a un effet positif sur les paramètres de croissance de la culture céréalière de maïs. Zamil et al. (2004) et Zro et al. (2018) ont trouvé dans leurs études que les amendements organiques améliorent la disponibilité de l'azote, du phosphore et du potassium ce qui conduit à une meilleure croissance de la plante. Des résultats similaires ont été trouvés par Dodzia et al., (2012) et Droh et al., (2022) qui ont noté des hauteurs plus importantes lorsqu'ils ont associé le biochar au compost. En effet, selon Ognalaga et al. (2015), la croissance en hauteur des plantes et des paramètres de production sont largement liée à la disponibilité du sol en azote et en phosphore.

6.1.4. Des amendements organiques efficaces (biochar et compost d'anacarde) pour améliorer la fertilité des sols et la croissance du riz en conditions salines

Suite aux différentes études menées en milieu semi contrôlé dans la ferme du département d'Agroforesterie, les résultats ont montré des effets similaires des amendements organiques seuls ou en combinaison avec *Glomus mosseae*. Faisant suite à ces résultats, seuls les amendements organiques seuls ont été reconduits en milieu paysan dans deux sites (Selecky et Essyl). Les résultats issus de cette étude ont montré que les amendements organiques compost, biochar et l'association compost+biochar ont produit les meilleurs rendements. Ces mêmes types d'amendements organiques ont donné la biomasse sèche totale la plus importante comparée aux témoins aussi bien à la 1^{ère} année qu'à la 2^{ème} année. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que le biochar ainsi que le compost ont des effets positifs sur la fertilité du sol. Selon Saba, (2023), l'amélioration de la croissance des plantes peut être attribuée à une bonne fourniture de nutriments par le biochar, l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des nutriments, et la création d'un environnement favorable au niveau de la rhizosphère. Cependant l'amélioration du statut nutritionnel du sol a probablement eu un effet positif sur le rendement du riz. Ces résultats corroborent celui de Moyala et al. (2017), qui ont obtenu des rendements de maïs plus élevés sur des parcelles amendées au biochar. L'apport d'amendements organiques serait un moyen important de restaurer la fertilité des sols, d'améliorer la croissance et les performances des cultures. L'ajout de biochar aux sols change leurs propriétés microbiologiques (Steiner et al. 2008). Ces paramètres sont plus significatifs sur le site Selecky, caractérisé par des bas-fonds profonds permettant une meilleure rétention d'eau tout au long du cycle du riz. La salinité a affecté négativement le rendement du riz dans les zones affectées par la salinité à Essyl.

6.1.5. Les amendements organiques et la salinité influencent-ils la diversité spécifique des herbacées.

Les résultats de cette étude fournissent des informations sur l'état actuel de la végétation herbacée des rizières de la commune d'Enampore. De manière générale les amendements utilisés n'ont pas eu d'effet significatif sur la présence des adventices. Ces résultats sont en phase avec les études de Ka et al. (2019) qui ont montré que l'apport de fertilisations (organique et minérale) n'a pas d'effet positif sur la densité des « mauvaises herbes » en culture associée avec l'arachide. Durant et Kerneis (2015) ont montré que le nombre d'espèces et la diversité dans une prairie de fauche en marais charentais ont progressivement diminué avec les doses de fertilisation. Ainsi, les résultats ont montré que les fréquences sont plus importantes en 1^{ère} année (2020) qu'en 2^{ème} année (2021) d'expérimentation. Cette différence notée en 1^{ère} année

pourrait d'être liée à l'humidité due aux records de précipitations enregistrées au cours de cette année. En effet, 2203,6 mm de pluie ont été enregistrés en 2020 au cours de 81 jours pluvieux de fin mai à mi-octobre alors que l'année 2021 a enregistré 1168,5 mm de pluie au cours de 66 jours pluvieux et que la normale climatique des 30 dernières années est de 1191 mm de pluie. Une diminution de l'indice de Shannon a été notée dans la zone affectée par le sel. Celle-ci est attribuée à l'effet du sel sur les herbacées. Ces résultats sont en phase avec les travaux de Djighaly *et al.*, (2020) qui ont noté une diminution de l'indice de diversité de Shannon suivant le gradient de salinité. Les travaux de Greiner La Peyre *et al.*, (2001) ont montré une diminution et une compétition de l'abondance des espèces végétales en fonction du gradient de salinité. Les valeurs faibles de l'équitabilité dans la zone salée, indiquent une mauvaise répartition des individus entre les différentes espèces, et ce, pour le site de Selecky et pour la zone salée. Selon la similitude entre les listes des espèces des deux sites (Selecky et Essyl), il apparaît que les espèces situées à Essyl sont similaires à celles situées à Selecky. Ce même constat a été fait avec les différents amendements organiques où nous avons noté une forte similarité entre les espèces.

En somme ces différents résultats obtenus indiquent que la revalorisation des sols salés par apport d'amendements organiques nécessiterait en plus du choix des amendements organiques, une amélioration des propriétés chimiques, physiques et microbiologiques des sols et des capacités de tolérance à la salinité de cultures choisies.

6.2. Conclusion générale et perspectives

6.2.1. Conclusion générale

L'abandon des parcelles rizicoles en Basse Casamance due aux sels est devenu aujourd'hui un problème majeur et qui menace la sécurité alimentaire en milieu rural. Des recherches ont ainsi été entreprises, afin d'y apporter des solutions. Cette étude a été réalisée pour accompagner les producteurs à rentabiliser leur production et à mieux préserver leur environnement.

Les résultats de l'étude sur l'effet des amendements organiques associés à *Glomus mosseae* sur la production ont montré une différence significative pour la hauteur, le nombre de talles et l'ensemble des paramètres de rendement (biomasse totale, biomasse racinaire et biomasse aérienne) durant les deux années d'expérimentation. De façon globale, les résultats montrent que les amendements organiques ont des effets positifs sur le riz en milieu paysan. Ces effets sont plus significatifs à Selecky aussi bien en 1^{ère} année qu'en 2^{ème} année d'expérimentation. La présence du sel a eu des effets négatifs sur la survie des plants de riz à Essyl en 2^{ème} année. Quant à l'effet des amendements organiques sur la diversité des herbacées, les résultats ont

montré que ces derniers n'ont pas d'effet significatif sur la composition. Cependant ces amendements permettent une amélioration du rendement rizicole en zone salée et non salée.

6.2.2. Perspectives

A la lumière des résultats auxquels nous sommes parvenus, la gestion durable des zones salées et l'amélioration de leurs rendements en Basse Casamance passe par d'autres études qui permettront d'élucider certaines questions telles que :

- Des études complémentaires seraient nécessaires en vue d'évaluer l'efficacité de ces amendements organiques au champ à court et à long termes sur le riz et d'autres cultures.
- Aussi l'identification des microorganismes telluriques du sol qui vont s'adapter à ces zones affectées par la salinité.

Il serait essentiel de mettre en place des expérimentations au champ avec l'utilisation d'autres types d'amendements organiques tels que la fiente de volaille ainsi que de la bouse de vache pour étudier leur effet sur le développement des plantes de grandes cultures.

Il serait aussi intéressant d'introduire des espèces forestières dans les bas-fonds salés tout en développant l'agroforesterie.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abu-Ziada, M. E. A. (1980). Ecological studies on the flora of Kharga and Dakhla Oases of the Western Desert of Egypt. *Arid Land Research and Management*, 4(4), 253-260.
- Adjakpa, J. B., Yedomonhan, H., Ahoton, L. E., Weesie, P. D., & Akpo, L. E. (2013). Structure et diversité floristique des îlots de forêts riveraines communautaires de la Basse vallée de la Sô au Sud-Est du Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 65.
- Agegehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., Muirhead, B., Wright, G., & Bird, M. I. (2015). Biochar and biochar-compost as soil amendments : Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. *Agriculture, ecosystems & environment*, 213, 72-85.
- Ahmad, R. (1995). Studies on growth and salt regulation in some halophytes as influenced by edaphic and climatic conditions. *Pak J Bot*, 27(1), 151-163.
- Aimouch, D. E., Meskine, S., Cherif, Y. B., Zaoui, A., & Boukourt, A. (2017). Effect of sodium p-type doping on the structural, electrical and optical properties of zinc oxide. *Optik*, 130, 1320-1326.
- Albergel, J., Gabelle, F., Lamachère, J.-M., Lidon, B., Ilah Mokadem, A., Ran, A., Van Driel, W., Dacosta, H., Dobos, A., & Fall, M. (1993). *Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel. Typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles*. 335.
- Ali, A., Morou, B., Inoussa, M. M., Abdourahmane, S., Mahamane, A., & Saadou, M. (2017). Caractérisation des peuplements ligneux des parcs agroforestiers à *Diospyros mespiliformis* dans le centre du Niger. *Afrique science*, 13(2), 87-100.
- Amar, B., Mbaye, M. S., Tine, A. K., Diouf, N., Diouf, J., Ka, S. L., Dieng, B., & Noba, K. (2022). Impact de la salinité sur la diversité floristique dans la vallée de Bakhala (Fatick, Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(2), 628-641.
- Amerah, A. M., Péron, A., Zaefarian, F., & Ravindran, V. (2011). Influence of whole wheat inclusion and a blend of essential oils on the performance, nutrient utilisation, digestive tract development and ileal microbiota profile of broiler chickens. *British poultry science*, 52(1), 124-132.
- ANSD. (2013). *Situation Economique et Sociale*. 5p.
- APRAO. (2011). *Projet Amélioration de la Production du Riz en Afrique de l'Ouest en Réponse à la Flambée des Prix des Denrées Alimentaires (GCP/RAF/453/SPA) / Composante Sénégal, Rapport Provisoire 2012*.
- Armel, K. K. K., Irénée, P. S., & Bernard, B. (2008). Evaluation du stress hydrique en riziculture de basfond en fonction des variétés et des dates de semis. *Mémoire de diplôme d'études approfondies en gestion intégrée des ressources naturelles, institut de développement rural. Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso*, 67p.
- Arshad, M. (2003). *Cholistan desert ecosystem monitoring for future management* (40(5); Pak.J.Bot., p. 1923-1931).
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., & Hips, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils : A review. *Plant and soil*, 337(1), 1-18.
- Augusseau, X., Nikiéma, P., & Torquebiau, E. (2006). Tree biodiversity, land dynamics and farmers' strategies on the agricultural frontier of southwestern Burkina Faso. *Biodiversity & Conservation*, 15(2), 613-630.
- Bailey, V. L., Fansler, S. J., Smith, J. L., & Bolton Jr, H. (2011). Reconciling apparent variability in effects of biochar amendment on soil enzyme activities by assay optimization. *Soil biology and biochemistry*, 43(2), 296-301.

- Bambara, C. A. (2017). Effets des fientes de volaille sur les propriétés chimiques du sol et le rendement paddy du riz pluvial strict en zone sud soudanienne du Burkina Faso. *2017*, 68.
- Barnawal, D., Bharti, N., Maji, D., Chanotiya, C. S., & Kalra, A. (2014). ACC deaminase-containing *Arthrobacter protophormiae* induces NaCl stress tolerance through reduced ACC oxidase activity and ethylene production resulting in improved nodulation and mycorrhization in *Pisum sativum*. *Journal of plant physiology*, *171*(11), 884-894.
- Bassène, C., Mbaye, M. S., Kane, A., Diangar, S., & Noba, K. (2012). Flore adventice du maïs (*Zea mays* L.) dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal) : Structure et nuisibilité des espèces. *Journal of Applied Biosciences*, *59*, 4307-4320.
- Bencherif, K., Boutekrabt, A., Fontaine, J., Laruelle, F., Dalpe, Y., & Sahraoui, A. L.-H. (2015). Impact of soil salinity on arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity and microflora biomass associated with *Tamarix articulata* Vahl rhizosphere in arid and semi-arid Algerian areas. *Science of the Total Environment*, *533*, 488-494.
- Berhaut, J. (1967). Flora of Senegal. *Flora of Senegal.*, 2nd ed.
- Bonaventure, L. N. (2016). Potentiel d'amélioration de la fertilité des sols sableux et acides de Kinshasa (RDC) par l'usage du charbon des bois (biochar), de la biomasse végétale et des engrais minéraux. *Thèse Doctorat, Université de liège, Belgique*, 243p.
- Boukcim, H., & Mousain, D. (2001). Effets de la fertilisation phosphatée sur la mycorrhization, la croissance et la nutrition en phosphore et en azote de semis de Cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti) inoculés en pépinière par *Tricholoma tridentinum* Sing. Var. *Cedretorum* Bon. *Annals of forest science*, *58*(3), 289-300.
- Bouko, B. S., Sinsin, B., & Soulé, B. G. (2007). Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts claires et savanes au Bénin. *Tropicultura*, *25*(4), 221-227.
- Brandt, M., Romankiewicz, C., Spiekermann, R., & Samimi, C. (2014). Environmental change in time series—An interdisciplinary study in the Sahel of Mali and Senegal. *Journal of Arid Environments*, *105*, 52-63.
- Caballero, J. M., Esteve, M. A., Calvo, J. F., & Pujol, J. A. (1994). Structure of the vegetation of salt steppes of Guadalenitin (Murcia, Spain). *Studies in Oecologia*, *10*(11), 171-183.
- Cano, A., Hernández-Ruíz, J., García-Cánovas, F., Acosta, M., & Arnao, M. B. (1998). An end-point method for estimation of the total antioxidant activity in plant material. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, *9*(4), 196-202.
- Cardoso, P., Borges, P. A., & Veech, J. A. (2009). Testing the performance of beta diversity measures based on incidence data : The robustness to undersampling. *Diversity and Distributions*, *15*(6), 1081-1090.
- Chartzoulakis, K., & Klapaki, G. (2000). Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia horticultrurae*, *86*(3), 247-260.
- Choudhary, O. P., Josan, A. S., Bajwa, M. S., & Kapur, M. L. (2004). Effect of sustained sodic and saline-sodic irrigation and application of gypsum and farmyard manure on yield and quality of sugarcane under semi-arid conditions. *Field crops research*, *87*(2-3), 103-116.
- Colwell, R. K., & Coddington, J. A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *345*(1311), 101-118.
- Coly, I., Akpo, L. E., Sarr, D., Malou, R., Dacosta, H., & Diome, F. (2005). Caractérisation agro-écologique du terroir de la Nema en zone soudano-sahélienne au Sénégal : Typologie des parcs agroforestiers. *Agronomie africaine*, *17*(1), 53-62.

- Coly, I., Badji, A., Ngom, D., Goudiaby, A. O. K., & Drame, M. (2020). Structure and diversity of agroforestry parks in the Tenghory District (Lower Casamance, Senegal). *American Journal of Agriculture and Forestry*, 8(5), 198-207.
- Couplen, F., & Marmy, F. (2009). Jardinez au naturel. *Le jardin bio facile*, 314.
- Cui, X., Gibbes, C., Southworth, J., & Waylen, P. (2013). Using remote sensing to quantify vegetation change and ecological resilience in a semi-arid system. *Land*, 2(2), 108-130.
- Dagbenonbakin, I. G. D., Djenontin, I. A. J., Adjovi, I. N. A., Igue, I. M., & Mensah, I. G. A. (2013). Production et utilisation de compost et gestion des résidus de récolte. *Fiche technique. Bibliothèque nationale du Bénin*. 10p.
- Daget, P., & Poissonet, J. (1969). Analyse phytologique des prairies: Applications agronomiques. *Centre National de la Recherche Scientifique*, 48-67.
- del Villar, P. M., & Bauer, J.-M. (2013). Le riz en Afrique de l'Ouest : Dynamiques, politiques et perspectives. *Cahiers Agricultures*, 22(5), 336-344.
- Dewan, A. M., Yamaguchi, Y., & Rahman, Z. (2012). Dynamics of land use/cover changes and the analysis of landscape fragmentation in Dhaka Metropolitan, Bangladesh. *GeoJournal*, 77(3), 315-330.
- Diallo, A., Agbangba, E. C., Thiaw, A., & Guisse, A. (2012). Structure des populations de *Acacia senegal* (L.) Willd dans la zone de Tessékéré (Ferlo nord), Sénégal. *Journal of applied biosciences*, 9p.
- Diallo, B., Samba, S. A. N., & Sane, D. (2016). Effets de champignons MA sur la croissance et le développement de plants de ricin élevés sous contrainte saline en conditions semi-contrôlées. *Journal of Renewable Energies*, 19(1), 59-68.
- Diallo, M. D., Saleh, M. M., Bassene, C., Wood, S. A., Diop, A., & Guisse, A. (2015). Influence de la litière foliaire de cinq espèces végétales tropicales sur la diversité floristique des herbacées dans la zone du Ferlo (Senegal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(2), 803-814.
- Diatta, A. A., Ndour, N., Manga, A., Sambou, B., Faye, C. S., Diatta, L., Goudiaby, A., Mbow, C., & Dieng, S. D. (2016). Services écosystémiques du parc agroforestier à *Cordyla pinnata* (Lepr. Ex A. Rich.) Milne-Redh. Dans le Sud du Bassin Arachidier (Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(6), 2511-2525.
- Diatta, Y., Diedhiou, S., Goudiaby, A. O., Sagna, Y. P., Diallo, M. D., & Ndoye, I. (2019). Effet des amendements organiques sur la tolérance à la salinité du riz (*Oryza sativa* L) dans les bas-fonds en zone sud-soudanienne au Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(6), 2691-2703.
- Dieng, N. M., Dinis, J., Faye, S., Gonçalves, M., & Caetano, M. (2014). Combined uses of supervised classification and normalized difference vegetation Index techniques to monitor land degradation in the Saloum saline estuary system. In *The Land/Ocean Interactions in the Coastal Zone of West and Central Africa* (p. 49-63). Springer.
- Diop, T., Ndiaye, R., Sow, S. A., & Ba, D. D. (2019). Analyse des effets du phosphogypse et du fumier sur la salinité de la cuvette de Ndiol dans le Delta du fleuve Sénégal. *Afrique SCIENCE*, 15(4), 71-80.
- Diouf, D., Fall, D., Chaintreuil, C., Ba, A. T., Dreyfus, B., Neyra, M., Ndoye, I., & Moulin, L. (2010). Phylogenetic analyses of symbiotic genes and characterization of functional traits of *Mesorhizobium* spp. Strains associated with the promiscuous species *Acacia seyal* Del. *Journal of applied microbiology*, 108(3), 818-830.
- Djatta, M. B., Manzo, O. L., Diouf, P. M., & Diop, T. (2013). Effets de l'inoculation mycorhizienne sur le sesame (*Sesamum indicum* L.) en conditions naturelles. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(5), 2050-2057.
- Djighaly, P. I., Ndiaye, S., & Amadou Mbarrick Diarra 1| Fodé Amata Dramé 3 | and |Boubacar Baldé. (s. d.). *effet de la salinite sur le pouvoir infectif des champignons mycorhiziens*

a arbuscules et la diversité de la végétation herbacée dans le périmètre rizicole de la vallée de Niamone...

- Djighaly, P. I., Ndiaye, S., Diarra, A. M., Dramé, F. A., & Baldé, B. (2020). Effet de la salinité sur le pouvoir infectif des champignons mycorrhiziens à arbuscules et la diversité de la végétation herbacée dans le périmètre rizicole de la vallée de Niamone (Ziguinchor, Sénégal). *Am. J. innov. res. appl. sci*, 10(2), 69-76.
- Dodzia, B. K., Attia, T., Kodjoa, T. A., Affoha, A., & Mawuenaa, G. (2012). Impact de la fumure organique appliquée seule et en combinaison avec une souche indigène de champignon mycorrhizien arbusculaire *Glomus mosseae* sur *Meloidogyne* spp, principal nématode parasitaire de la tomate au Togo. *Journal of Applied Biosciences*, 55, 3973-3986.
- Dominguez-Nuñez, J. A., Benito, B., Berrocal-Lobo, M., & Albanesi, A. (2016). Mycorrhizal fungi: Role in the solubilization of potassium. In *Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture* (p. 77-98). Springer.
- Droh, G., Djezou, K. M., Toure, M., Tuo, S., Zei, P., & N'guetta, A. S.-P. (2022). Effet du bio-compost associé aux champignons mycorrhiziens sur le rendement du maïs (*Zea mays* L.) en Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 21(4), 70-81.
- Durant, D., & Kerneis, E. (2015). Effets de la fertilisation sur la production, la valeur nutritive et la diversité floristique d'une prairie de fauche en marais charentais. *Fourrages*, 222, 157-165.
- El Mokhtar, M. A. (2020). Rôles des champignons mycorrhiziens arbusculaires autochtones et du compost dans l'amélioration de la tolérance du palmier dattier au stress salin. 2020, 186.
- Estrada, B., Aroca, R., Maathuis, F. J., Barea, J. M., & RUIZ-LOZANO, J. M. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi native from a Mediterranean saline area enhance maize tolerance to salinity through improved ion homeostasis. *Plant, cell & environment*, 36(10), 1771-1782.
- Etiabi, B., Koulibaly, B., & Traore, H. (2021). Inventaire des mauvaises herbes et des méthodes de lutte contre l'enherbement dans les exploitations de la zone cotonnière Est du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(4), 1421-1434.
- Fall, A. A. (2015). *Synthèse des études sur l'état des lieux chaîne de valeur riz en Afrique de l'Ouest : Bénin, Burkina Faso, Mali, Niger et Sénégal*,. 55.
- Fall, A. A. (2016). Synthèse des études sur l'état des lieux chaîne de valeur riz en Afrique de l'ouest : Bénin, Burkina Faso, Mali, Niger et Sénégal. *Rapport final, ROPPA*, 83p.
- FAOSTAT. (2014). *Statistique Agricoles*. 9.
- Faye, O. N. (2016). Sélection de variété de riz pour la tolérance à la salinité—mécanismes agronomiques et physiologiques développés. *Mémoire de thèse, Université de Thiès, Thiès*, 135.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., & Gibbs, H. K. (2005). Global consequences of land use. *science*, 309(5734), 570-574.
- Foo, E., Yoneyama, K., Hugill, C. J., Quittenden, L. J., & Reid, J. B. (2013). Strigolactones and the regulation of pea symbioses in response to nitrate and phosphate deficiency. *Molecular plant*, 6(1), 76-87.
- Fortin, J. A., Plenchette, C., & Piché, Y. (2008). *Les mycorhizes : La nouvelle révolution verte*. Editions Quae.
- Fuchs, J. G. (2010). Interactions between beneficial and harmful microorganisms : From the composting process to compost application. In *Microbes at work* (p. 213-229). Springer.

- Ganaba, S., & Guinko, S. (1995). Etat actuel et dynamique du peuplement ligneux de la région de la Mare d'Oursi (Burkina Faso). *Etudes sur la Flore et la Végétation du Burkina Faso et des Pays Avoisinats*, 2, 3-14.
- Garbaye, J. (2013). La symbiose mycorhizienne : Une association entre les plantes et les champignons. *La symbiose mycorhizienne*, 1-280.
- Graber, E. R., Meller Harel, Y., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., Rav David, D., Tsechansky, L., Borenshtein, M., & Elad, Y. (2010). Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and soil*, 337(1), 481-496.
- Gravel, V., Dorais, M., & Ménard, C. (2013). Organic potted plants amended with biochar : Its effect on growth and Pythium colonization. *Canadian Journal of Plant Science*, 93(6), 1217-1227.
- Greiner La Peyre, M. K., Grace, J. B., Hahn, E., & Mendelssohn, I. A. (2001). The importance of competition in regulating plant species abundance along a salinity gradient. *Ecology*, 82(1), 62-69.
- Guay, E. (2012). Étude de l'impact sur la flore adventice de plusieurs systèmes de culture à bas niveau d'intrants. *Mémoire de Fin d'Etudes. Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage. Ecole d'Ingénieurs de Purpan (Toulouse, France)*, 46.
- Gueye, A. A. (2004). Étude bibliographique sur la filière riz au Sénégal. *CONSULTANT*.
- Hamrouni, L., Hanana, M., Abdelly, C., & Ghorbel, A. (2011). Exclusion du chlorure et inclusion du sodium : Deux mécanismes concomitants de tolérance à la salinité chez la vigne sauvage *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris* (var. 'Séjène'). *BASE*.
- Hanana, M., Hamrouni, L., Cagnac, O., & Blumwald, E. (2011). Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Environmental Reviews*, 19(NA), 121-140.
- Harel, Y. M., Kolton, M., Elad, Y., Rav-David, D., Cytryn, E., Borenshtein, M., Shulchani, R., & Graber, E. R. (2012). Biochar impact on plant development and disease resistance in pot trials. *IOBC/WPRS Bull*, 78, 141-147.
- Harley, J. L., & Harley, E. L. (1987). A check-list of mycorrhiza in the British flora. *The New Phytologist*, 105(2), 1-102.
- Haro, H., Sanon, K. B., Diop, I., Kane, A., Dianda, M., Houngnandan, P., Neyra, M., & Traore, A. (2012). Réponse à l'inoculation mycorhizienne de quatre variétés de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cultivées au Burkina Faso et au Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(5), 2097-2112.
- Haro, H., Sanon, K. B., Krasova-Wade, T., Kane, A., N'Doye, I., & Traore, A. S. (2015). Réponse à la double inoculation mycorhizienne et rhizobienne du niébé (variété, K VX396-4-5-2D) cultivé au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 1485-1493.
- Hetrick, B. A. D., Wilson, G. W. T., & Cox, T. S. (1992). Mycorrhizal dependence of modern wheat varieties, landraces, and ancestors. *Canadian Journal of Botany*, 70(10), 2032-2040.
- Ingleby, K., Wilson, J., Munro, R. C., & Cavers, S. (2007). Mycorrhizas in agroforestry : Spread and sharing of arbuscular mycorrhizal fungi between trees and crops: complementary use of molecular and microscopic approaches. *Plant and soil*, 294(1), 125-136.
- Insaf, B. (2019). Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la germination et les paramètres de croissance du blé (*Triticum* sp). *Mémoire Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.*, 61.

- Jafari, M., Chahouki, M. Z., Tavili, A., Azarnivand, H., & Amiri, G. Z. (2004). Effective environmental factors in the distribution of vegetation types in Poshtkouh rangelands of Yazd Province (Iran). *Journal of Arid Environments*, 56(4), 627-641.
- Jaiswal, A. K., Elad, Y., Graber, E. R., & Frenkel, O. (2014). *Rhizoctonia solani* suppression and plant growth promotion in cucumber as affected by biochar pyrolysis temperature, feedstock and concentration. *Soil Biology and Biochemistry*, 69, 110-118.
- Jansa, J., & Gryndler, M. (2010). Biotic environment of the arbuscular mycorrhizal fungi in soil. In *Arbuscular mycorrhizas : Physiology and function* (p. 209-236). Springer.
- Ka, S. L., Gueye, M., Mbaye, M. S., Kanfany, G., & Noba, K. (2019). Response of a weed community to organic and inorganic fertilization in peanut crop under Savannah zone of Senegal, West Africa. *Journal of Research in Weed Science*, 2(3), 241-252.
- 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*. 67p.
- Kebenzikato, A. B., Wala, K., Dourma, M., Atakpama, W., Dimobe, K., Pereki, H., Batawila, K., & Akpagana, K. (2014). Distribution et structure des parcs à *Adansonia digitata* L.(baobab) au Togo (Afrique de l'Ouest). *Afrique Science*, 10(2), 434-449.
- Kémassi, S. (2011). Etude de l'effet des fertilisants organiques sur l'amélioration de la nutrition minérale de la pomme de terre (variété spunta) sous les conditions salines des régions sahariennes (cas de la région de Ouargla). *Mémoire de fin d'étude, Université Kasdi Merbah-Ouargla, Algérie*, 107.
- Kerré, B., Willaert, B., Cornelis, Y., & Smolders, E. (2017). Long-term presence of charcoal increases maize yield in Belgium due to increased soil water availability. *European Journal of Agronomy*, 91, 10-15.
- Kim, J.-S., Sparovek, G., Longo, R. M., De Melo, W. J., & Crowley, D. (2007). Bacterial diversity of terra preta and pristine forest soil from the Western Amazon. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(2), 684-690.
- Kouassi, A., Adou, Y., Ipou, I., & Kamanzi, K. (2010). Diversité floristique des zones côtières pâturées de la Côte d'Ivoire : Cas du cordon littoral Port-Bouët-Grand-Bassam (Abidjan). *Sciences & Nature*, 7(1).
- Kouassi, A. F., Koffi, K. J., N'goran, K. S. B., & Ipou, I. J. (2014). Potentiel de production fourragère d'une zone pâturée menacée de destruction : Cas du cordon littoral Port-Bouët et Grand-Bassam. *Journal of Applied Biosciences*, 82, 7403-7410.
- Koull, N., & Halilat, M. T. (2016). Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algérie). *Etude et Gestion des sols*, 23, 9-23.
- Kwey, M. M., Banze, S. K., & Mukalay, J. B. (2015). Etude de cas sur l'impact des amendements organiques vis-à-vis de la salinité en culture de bananier. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 11(3), 152-160.
- Labo, A. D., Sane, S., Ngom, D., & Akpo, L. E. (2016). Effet du sel sur le comportement des jeunes plants de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Basse Casamance. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(3), 1312-1328.
- Lacharme, M. (2001). *Le plant de riz : Données morphologiques et cycle de la plante. Mémento Technique de Riziculture*, 22p.
- Lahouel, H. (2014). Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le rendement des céréales (cas de l'orge) dans la région de Hemadna à Relizane. *Mémoire de Master, Université d'Abou Bakr Belkaid, Algérie*, 104.
- Laird, D. A., Fleming, P., Davis, D. D., Horton, R., Wang, B., & Karlen, D. L. (2010). Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3-4), 443-449.

- Lavorel, S., Rochette, C., & Lebreton, J.-D. (1999). Functional groups for response to disturbance in Mediterranean old fields. *Oikos*, 480-498.
- Lax, A., Díaz, E., Castillo, V., & Albaladejo, J. (1994). Reclamation of physical and chemical properties of a salinized soil by organic amendment. *Arid Land Research and Management*, 8(1), 9-17.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Leinweber, P., & Schulten, H.-R. (1999). Advances in analytical pyrolysis of soil organic matter. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 49(1-2), 359-383.
- Lévesque, V. (2017). Amendement en biochars : Effets sur l'activité et la structure des microorganismes et sur les rendements de la tomate et du poivron de serre. *These de doctorat, Université Laval*, 253.
- Levitt, J. (1980). *Water, radiation, salt and other stresses. Responses of plants to environmental stresses*. New York: Academic Press.
- Li, W.-Q., Xiao-Jing, L., Khan, M. A., & Gul, B. (2008). Relationship between soil characteristics and halophytic vegetation in coastal region of North China. *Pak J Bot*, 40(3), 1081-1090.
- Liu, C., Wang, H., Tang, X., Guan, Z., Reid, B. J., Rajapaksha, A. U., Ok, Y. S., & Sun, H. (2016). Biochar increased water holding capacity but accelerated organic carbon leaching from a sloping farmland soil in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(2), 995-1006.
- Lobell, D. B., & Field, C. B. (2007). Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental research letters*, 2(1), 7p.
- Maillard, J. (2001). Le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. *Handicap International*, 34p.
- Manalil, S., Coast, O., Werth, J., & Chauhan, B. S. (2017). Weed management in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) through weed-crop competition : A review. *Crop Protection*, 95, 53-59.
- Manga, A., Ndiaye, F., & Diop, T. A. (2017). Le champignon arbusculaire *Glomus aggregatum* améliore la nutrition minérale de *Acacia seyal* soumis au stress salin progressif. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5), 2352-2365.
- Manzelli, M., Fiorillo, E., Bacci, M., & Tarchiani, V. (2015). La riziculture de bas-fond au sud du Sénégal (Moyenne Casamance) : Enjeux et perspectives pour la pérennisation des actions de réhabilitation et de mise en valeur. *Cah Agric*, 24(5), 301-312. <https://doi.org/10.1684/agr.2015.0772>
- Massaoudou, M., Mahamane, L., & Saadou, M. (2015). Caractérisation des peuplements ligneux des parcs à *Faidherbia albida* (Del) A. Chev. Et à *Prosopis africana* (Guill., Perrot et Rich.) Taub. Du Centre-Sud Nigérien. *Journal of Applied Biosciences*, 94, 8890-8906.
- Mayak, S., Tirosh, T., & Glick, B. R. (2004). Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant physiology and Biochemistry*, 42(6), 565-572.
- Mbaikoubou, M., Guihini, A., Diallo, A., Faye, N., Saleh, M. M., Moussa, T. D., & Guisse, A. (2021). Caractéristiques des peuplements ligneux du tracé de la grande muraille verte des provinces de Wadi-Fira Est et de l'Ennedi Est du Tchad. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(5), 1885-1901.
- Mballo, R., Bassene, C., Mbaye, M. S., Diallo, S., Camara, A. A., & Noba, K. (2018). Caractérisation de la flore adventice du riz irrigué dans quatre sites d'expérimentation dans la vallée du fleuve Sénégal. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 38(2), 6257-6271.
- Mbaye, M. S. (2013). *Association mil [Pennisetum glaucum (L.) R. Br] et niébé [Vigna unguiculata (L.) Walp.] : Arrangement spatiotemporel des cultures, structures,*

- dynamique et concurrence de la flore adventice et proposition d'un itinéraire technique* [PhD Thesis]. Thèse de Doctorat d'état, UCAD. 236p.
- Mbow, C., Nielsen, T. T., & Rasmussen, K. (2000). Savanna fires in east-central Senegal : Distribution patterns, resource management and perceptions. *Human Ecology*, 28(4), 561-583.
- Meena, V. S., Maurya, B. R., & Verma, J. P. (2014). Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils? *Microbiological research*, 169(5-6), 337-347.
- Meena, V. S., Maurya, B. R., Verma, J. P., Aeron, A., Kumar, A., Kim, K., & Bajpai, V. K. (2015). Potassium solubilizing rhizobacteria (KSR) : Isolation, identification, and K-release dynamics from waste mica. *Ecological Engineering*, 81, 340-347.
- Mélissa Brigitte, P. (2014). Effets de la fumure organique sur les caractéristiques chimiques des sols en zone cotonnière ouest du Burkina Faso : Cas des sols ferrugineux de boni et des sols bruns eutrophes de doss. *Mémoire Master, Université Polytechnique de Bobo-dioulasso*, 59p.
- Merlier, H., & Montegut, J. (1982). Adventices tropicales. *Flore aux stades plantule et adulte de*, 123, 164-167.
- Mermoud, A. (2006). Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. *Ecole polytechnique fédérale de Lausanne*, 23.
- Morel, J. L., Jacquin, F., Guckert, A., & Barthell, C. (1979). *Contribution à la réalisation de tests de détermination de la maturité des composts urbains*.
- Moussa, S. (1991). *Prospection et évaluation génétique des variétés traditionnelles de riz (Oryza sativa L. et O. glaberrima Steud) du Burkina Faso*.
- Mrabet, L., Belghtyi, D., Loukili, A., & Attarassi, B. (2011). Étude de l'effet du compost des déchets ménagers sur l'amélioration du rendement de Maïs et de la Laitue. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 7(2).
- Mukendi, R. D., Mutamba N B, Kabongo M D, & Tshilumba M T. (2017). Évaluation variétale de quelques génotypes de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) en conditions agro-écologiques de Kabinda, province de Lomami, République Démocratique du Congo. *Afrique. Science*, 13, 24-31.
- Munns, R. (1993). Physiological processes limiting plant growth in saline soils : Some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell & Environment*, 16(1), 15-24.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, 25(2), 239-250.
- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance : Bringing them together. *New phytologist*, 167(3), 645-663.
- Munns, R., James, R. A., & Läuchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of experimental botany*, 57(5), 1025-1043.
- Munns, R., & Rawson, H. M. (1999). Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Functional Plant Biology*, 26(5), 459-464.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681.
- Ndiaye, M. (1997). *Contribution des légumineuses arbustives à l'alimentation azotée du maïs (Zea mays L.) : Cas d'un système de culture en allées dans le centre-sud Sénégal* [PhD Thesis]. Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Ndonga, A., Mahungu, N., Moango, A., & Yandju, M. C. (2019). Effet des champignons mycorhiziens Arbusculaires sur le phosphore des sols tropicaux et implication dans la biosynthèse du caroténoïde du manioc. *Journal of Applied Biosciences*, 13750-13764.

- NdT, D.-S., & Samb, P. I. (2007). Comportement agromorphologique en milieu réel de lignées de riz *Oryza sativa* L., sélectionnées in vitro pour leur résistance au sel. *Journal des Sciences et Technologies*, 5(2), 21-30.
- Ngnikam, E., Vermande, P., & Rousseaux, P. (1993). Traitement des déchets urbains. Une unité de compostage des ordures ménagères dans un quartier d'habitat spontané à Yaoundé (Cameroun). *Cahiers agricultures*, 2(4), 264-269.
- Nikiéma, D., Sawadogo, N., Tiendrébéogo, K. F., Sinaré, Y. I., Barry, M. L., & Sié, M. (2022). Diversité génétique, Importance et potentiel de production du riz (*Oryza* spp.) sous différents modes de gestion de l'eau dans un contexte de variabilité climatique au Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 37(1), 139-153.
- Noba, K. (2002). *La flore adventice dans le sud du bassin arachidier (Sénégal) : Structure, dynamique et impact sur la production du mil et de l'arachide*. 141.
- Nora, A. (2018). Biotechnologie de l'inoculation mycorhizienne : Production et application en cultures maraîchères. Cas de la pomme de terre. *These de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba*, 108.
- Ognalaga, M., Odjogui, P. I. O., Lekambou, J. M., & Poligui, R. N. (2015). Effet des écumes de canne à sucre, de la poudre et du compost à base de *Chromolaena odorata* (L.) King RM & HE Rob sur la croissance de l'oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa* L.). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(5), 2507-2519.
- Ouattara, B., Ouattara, K., Serpantié, G., Mando, A., Sédogo, M. P., & Bationo, A. (2006). Intensity cultivation induced effects on soil organic carbon dynamic in the western cotton area of Burkina Faso. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 76(2), 331-339.
- Ouhaddach, M., ElYacoubi, H., Douaik, A., Hmouni, D., & Rochdi, A. (2016). Réponse à la salinité de quelques paramètres physiologiques et biochimiques du Blé (*Triticum aestivum* L.) au stade montaison. *J. Mater. Environ. Sci*, 7(9), 3084-3099.
- Ousseina, S., Fortina, R., Marichatou, H., & Tenikoye, A. (2013). Dynamique du peuplement herbacé de la station sahélienne expérimentale de Toukounous (Filingué-Niger). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(2), 657-671.
- Panthou, G., Lebel, T., Vischel, T., Quantin, G., Sane, Y., Ba, A., Ndiaye, O., Diongue-Niang, A., & Diopkane, M. (2018). Rainfall intensification in tropical semi-arid regions : The Sahelian case. *Environmental Research Letters*, 13(6), 10.
- PDC. (2021). *Plan de développement de la commune d'Enampore 2022-2026*.
- Peerzada, A. M., Ali, H. H., & Chauhan, B. S. (2017). Weed management in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] using crop competition : A review. *Crop Protection*, 95, 74-80.
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological Society*, 55(1), 158-161.
- Pielou, E. C. (1966). Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. *Journal of theoretical biology*, 10(2), 370-383.
- PROGERT. (2008). *Rapports annuels sur le Projet Récupération des Terres Salées, Direction des Eaux et Forêts, Chasse et de la Conservation des Sols*. 141.
- Qadir, M., & Oster, J. D. (2004). Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of the total environment*, 323(1-3), 1-19.
- Quilambo, O. A. (2003). The vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *African Journal of Biotechnology*, 2(12), 539-546.
- Rabiou, H., Inoussa, M. M., Bakasso, Y., Diouf, A., Mamoudou, M. B., Mahamane, A., Idi, S. S., Saadou, M., & Lykke, A. M. (2014). Structure de la population de *Boscia senegalensis* (Pers) Lam. Ex Poir suivant la toposéquence dans la commune de Simiri (Niger). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 23(3), 3657-3669.

- Radanielina, T. (2010). Diversité génétique du riz (*Oryza sativa* L.) dans la région de Vakinankaratra, Madagascar. Structuration, distribution éco-géographique & gestion in situ. *These de Doctorat, l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech)*, 188.
- Raebild, A., Hansen, H. H., Dartell, J., Ky, J.-M. K., & Sanou, L. (2007). Ethnicity, land use and woody vegetation : A case study from south-western Burkina Faso. *Agroforestry Systems*, 70(2), 157-167.
- Raemaekers, R. H. (2001). *Agriculture en Afrique tropicale*. 1834.
- Rahmoune, C., Sdiri, H., Meddahi, M.-L., & Selmi, M. (2001). Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 12(3), 167-174.
- Rillig, M. C., Wright, S. F., & Eviner, V. T. (2002). The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation : Comparing effects of five plant species. *Plant and soil*, 238(2), 325-333.
- Rogovska, N., Laird, D. A., Rathke, S. J., & Karlen, D. L. (2014). Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability. *Geoderma*, 230, 340-347.
- Saba, F. (2023). Etude des effets de l'utilisation combinée du biochar et de la fertilisation microdose sur les propriétés agro-pédologiques des zones ouest et centre-nord du Burkina Faso. *These de Doctorat, Université de LIEGE*, 183.
- Sagna, P. (2005). Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique occidentale. *These de doctorat d'état lettre UCAD*, 1, 790.
- Saidi, D., Le Bissonnais, Y., Duval, O., Daoud, Y., & Halitim, A. (2004). Effet du sodium échangeable et de la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine du Cheliff (Algérie). *Etude et gestion des sols*, 11(2), 137-148.
- Saidou, O., Douma, S., Djibo, A. Z., & Fortina, R. (2010). Analyse du peuplement herbacé de la station sahéenne expérimentale de Toukounous (Niger) : Composition floristique et valeur pastorale. *Sécheresse*, 21(2), 154-160.
- Samaké, O., Dakouo, J. M., Kalinganire, A., Bayala, J., & Koné, B. (2011). Régénération naturelle assistée Gestion des arbres champêtres au Sahel. *ICRAF Technical Manual*, 16.
- Sambou, A., Sambou, B., & Ræbild, A. (2017). Farmers' contributions to the conservation of tree diversity in the Groundnut Basin, Senegal. *Journal of Forestry Research*, 28(5), 1083-1096.
- Shackleton, S., & Gumbo, D. (2010). Contribution of non-wood forest products to livelihoods and poverty alleviation. In *The Dry Forests and Woodlands of Africa* (p. 73-101). Routledge.
- Singh, R., Babu, J. N., Kumar, R., Srivastava, P., Singh, P., & Raghubanshi, A. S. (2015). Multifaceted application of crop residue biochar as a tool for sustainable agriculture : An ecological perspective. *Ecological Engineering*, 77, 324-347.
- Smith, J. L., Collins, H. P., & Bailey, V. L. (2010). The effect of young biochar on soil respiration. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(12), 2345-2347.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*, 3rd edn. Academic. Elsevier, London.
- Sohi, S. P. (2012). Carbon storage with benefits. *Science*, 338(6110), 1034-1035.
- Souberou, K. T., Agbossou, K. E., & Ogouwale, E. (2017). Inventaire et caractérisation des bas-fonds dans le bassin versant de l'Oti au Bénin à l'aide des images Landsat et ASTER DEM. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, 2(4), 1601-1623.

- Souberou, K. T., Barre, I. O., Yabi, I., & Ogouwale, E. (2018). Fondements géographiques de la valorisation agricole des bas-fonds au Sud du bassin versant de l'Oti (Bénin). *European Scientific Journal, ESJ*, 14(21), 1601-1623.
- Steinbeiss, S., Gleixner, G., & Antonietti, M. (2009). Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6), 1301-1310.
- Steiner, C., Glaser, B., Geraldteixeira, W., Lehmann, J., Blum, W. E., & Zech, W. (2008). Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(6), 893-899.
- Strullu, D. G. (1991). Les relations entre les plantes et les champignons. *Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées*, 9-49.
- Sun, F., Zhang, W., Hu, H., Li, B., Wang, Y., Zhao, Y., Li, K., Liu, M., & Li, X. (2008). Salt modulates gravity signaling pathway to regulate growth direction of primary roots in *Arabidopsis*. *Plant physiology*, 146(1), 178-188.
- Tahirou, S., Zerbo, P., Ouattara, S., & Ado, M. N. (2022). Caractérisation des paramètres physico-chimiques du sol de la zone rizicole de Saga (Niamey) dans la vallée du fleuve Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(2), 842-854.
- Talla, R., Sagna, M. B., Diallo, M. D., Diallo, A., Faye, N., Sarr, O., & Guisse, A. (2020). Population Structure and Toposequence Distribution of *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. Ex Poir and *Sclerocarya birrea* (A. Rich) Hoscht in the Ferlo (Senegal). *Journal of Plant Sciences*, 8(5), 167-176.
- Tatila, I. N., Reounodji, F., Kasali, J. L., & Diaouangana, J. (2017). Evaluation de la diversité floristique en herbacées dans le Parc National de Manda au Tchad. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(4), 1484-1496.
- Tester, M., & Davenport, R. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of botany*, 91(5), 503-527.
- Thiam, A., Samba, S. A. N., Noba, K., Ndiaye, J. P., Diatta, M., & Wade, M. (2015). Etude de la variation de la végétation en milieux salé et acide au Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(1), 155-175.
- Thiam, O., Sagna, M. B., Diallo, A., Sarr, O., Ndiaye, D., & Guisse, A. (2020). Biodiversité Et Structure Des Ligneux De La Forêt Classée De Maka Diama Dans Le Delta Du Fleuve Sénégal. *European Scientific Journal*, 16(21), 21.
- Tian, Y., Gao, B., Silvera-Batista, C., & Ziegler, K. J. (2010). Transport of engineered nanoparticles in saturated porous media. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(7), 2371-2380.
- Traoré, S. S. H. (2012). Effets agro-pédologiques des modes de gestion à long terme des nutriments sous système de production à base de coton au Burkina Faso : Cas des essais longs durés de Saria et de Farako-Bâ. *Mémoire de fin de cycle, UPB-Bobo Dioulasso*, 59p.
- Trouvelot, A. (1986). Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *Physiological and genetical aspects of mycorrhizae*, 217-221.
- Walker, D. J., & Bernal, M. P. (2008). The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresource technology*, 99(2), 396-403.
- Wang, L., Sun, X., Li, S., Zhang, T., Zhang, W., & Zhai, P. (2014). Application of organic amendments to a coastal saline soil in North China: Effects on soil physical and chemical properties and tree growth. *PloS one*, 9(2), 9.
- Whittaker, R. H., & Rh, W. (1977). *Evolution of species diversity in land communities*.

- Wong, V. N., Dalal, R. C., & Greene, R. S. (2009). Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions : A laboratory incubation. *Applied Soil Ecology*, 41(1), 29-40.
- Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M., & Zimmerman, A. R. (2012). Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere*, 89(11), 1467-1471.
- Yoka, J., Loumeto, J. J., Djego, J., Voudibio, J., & Epron, D. (2013). Évaluation de la diversité floristique en herbacées des savanes de la cuvette congolaise (République du Congo). *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 9(2), 110-123.
- Yokoi, S., Quintero, F. J., Cubero, B., Ruiz, M. T., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M., & Pardo, J. M. (2002). Differential expression and function of Arabidopsis thaliana NHX Na⁺/H⁺ antiporters in the salt stress response. *The Plant Journal*, 30(5), 529-539.
- Zamil, S. S., Quazi, Q. F., MAH, C. D., & Al Wahid, A. (2004). *Effects of different animal manures on yield quality and nutrient uptake by mustard cv. Agrani*.
- Zanutel, M., Biolders, C., & Garré, S. (2019). " *Impact à long terme du biochar sur les propriétés physiques et hydrodynamiques du sol ainsi que sur les flux et stocks d'eau en milieu tempéré*. 179.
- Zhang, B., Chang, S. X., & Anyia, A. O. (2016). Mycorrhizal inoculation and nitrogen fertilization affect the physiology and growth of spring wheat under two contrasting water regimes. *Plant and soil*, 398(1), 47-57.
- Zro, F. G. B., Soro, D., & Abobi, D. H. A. (2018). Analyse comparée des effets de deux amendements organiques sur le statut organo-minéral et la productivité d'un sol sableux. *Journal of Applied Biosciences*, 124, 12416-12423.

Effets des amendements organiques sur la dynamique et la composition des espèces herbacées en milieu salin dans la commune d'Enampore en Basse Casamance (Sénégal)

Yaya DIATTA¹, Sire DIEDHIYOU², Aly DIALLO³, Arfang Ousmane Kémo GOUDIABY³, Jean BASSENE¹, Yves Pateme SAGNA¹, Mamadou SOW¹, Mariama Dalanda DIALLO⁴, Ibrahima NDOYE⁵, Saliou FALL⁶

¹Doctorant en Agroforesterie à l'Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ), Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie (LAFE)

²Maître de Conférences CAMES, Université Assane SECK de Ziguinchor

³Docteur en Agroforesterie, chercheur associé au Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie (LAFE), Ziguinchor, Sénégal

⁴Maître de Conférences CAMES, Université Gaston Berger, UFR SA2TA, St Louis, Sénégal

⁵Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal

⁶Institut français de recherche pour le développement (IRD), BP 1386 Dakar, Sénégal

E-mail de l'auteur correspondant : diattayaya231@gmail.com

Mots clés : Adventices, salinité, amendements organiques, riziculture, Enampore

Keywords: Weeds, salinity, organic amendments, rice cultivation, Enampore

Submission 9/05/2022, Publication date 31/07/2022, <http://m.elewa.org/Journals/about-japs/>

1 RÉSUMÉ

La riziculture pluviale est caractérisée par de faibles rendements à cause de la salinité et des adventices qui constituent les contraintes majeures. La présente étude se propose de suivre la dynamique de la flore adventice dans les bas-fonds salés, situé dans la commune d'Enampore. Les essais ont été réalisés en 2020 et 2021 en milieu paysan dans deux sites (Selecky et Essyl). Des relevés et des observations ont été menés avant, pendant et après la levée du riz. Ces travaux ont permis de répertorier 24 espèces réparties dans 22 genres et 11 familles. Les familles dominantes sont représentées par les *Poaceae* (25%) et les *Cyperaceae* (25%). Les Dicotylédones et les Monocotylédones représentent chacune 50%. Cette étude révèle que 16 espèces sont communes aux deux sites d'essais et 13 espèces aux deux zones (salée et non salée). Cependant la fréquence des adventices diminue suivant les années et les zones. En 2020 et en 2021, le nombre d'espèces répertoriées en conditions non salée est respectivement de 20 contre 16 espèces en conditions salée à la même période. Les amendements organiques n'ont pas d'effet significatif sur la diversité et la composition des herbacées ($P > 0,05$). L'indice de Shannon indique que la diversité est généralement faible mais plus élevée dans les zones non salées. L'indice de Beta est plus élevé dans les sites que dans les zones. Ce qui nous laisse dire que dans les sites les individus se répartissent équitablement entre les différentes espèces.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Perception Et Stratégies D'adaptation Des Producteurs Face À La Salinisation Des Vallées Rizicoles De La Commune d'Enampore En Basse Casamance

M. Yava Diatta

Pr Sire Diédhiou

Dr Arfang Ousmane Kémo Goudiaby

Université Assane Seck Ziguinchor, Département d'Agroforesterie, Sénégal
Laboratoire d'agroforesterie et d'écologie (LAFE)

M. Jean Bassene

M. Yves Paterné Sagna

M. Mamadou Sow

Université Assane Seck Ziguinchor, Département d'Agroforesterie, Sénégal
Laboratoire d'agroforesterie et d'écologie (LAFE)

Pr Mariama Dalanda Diallo

Université Gaston Berger, UFR SA2TA, Saint-Louis Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n11p71](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n11p71)

Submitted: 20 September 2021

Accepted: 01 February 2022

Published: 31 March 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Massamba N., Jean-Pierre M., & Lamine C., (2022). *Etudes De Lithostabilisation De La Latérite Avec La Dolérite De Memsadala (Sud-Est Du Sénégal) Pour Une Utilisation En Couche De Base De Chaussée* European Scientific Journal, ESJ, 18 (11), 71.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n11p71>

Resume

La dégradation du sol est un phénomène complexe, dans lequel interviennent plusieurs facteurs qui contribuent à la perte de la fertilité. Parmi ces facteurs, la salinisation des terres rizicoles est devenue une préoccupation pour les producteurs de la commune d'Enampore. L'objectif de cette étude est de contribuer à une connaissance des problèmes environnementaux induite par la salinité. Plus spécifiquement, il s'agit d'identifier les différentes stratégies d'adaptation des producteurs. La méthodologie utilisée s'appuie sur l'exploitation d'un questionnaire adressé à 237 ménages sur un total de 579 ménages répartis dans 5 villages. Les résultats ont montré les effets complexes de l'empreinte climatique à Enampore. Les principaux facteurs évoqués par les riziculteurs sont la baisse de la pluviométrie (46,6%) et l'avancée de la

www.ejournal.org

71

Enquête sur la perception des producteurs de l'impact de la salinité sur la production rizicoles

1. Nom de sillage

2. Prénom et Nom

3. Age

4. Sexe

1. Masculin 2. Féminin

5. Ethnie

1. Diola 2. Mandingue
 3. Peul 4. Mancego
 5. Marjack 6. Autre (préciser)

6. Situation matrimoniale

1. Célibataire 2. Marié 3. Divorcé
 4. Veuve ou Veuf

7. Profession

8. Quel est votre niveau d'étude?

1. Analphabète 2. Primaire
 3. Moyenne 4. Secondaire
 5. Université 6. Autre à préciser

9. Avez-vous une famille en charge?

1. Oui 2. Non

10. Si oui, combien de personnes constituent votre famille?

1. 1-5 2. 6-10 3. 11-20 4. 21 et plus

Pratiques culturelles et les différentes variétés utilisées

11. Pratiquez-vous de la riziculture dans vos vallées?

1. Oui 2. Non

12. Si oui, quel type de riziculture?

1. Pluviale 2. Contre saison

13. Faites-vous la riziculture de plateau?

1. Oui 2. Non

14. Si oui pourquoi?

15. Si non pourquoi?

16. A quoi est destiné votre production rizicole?

1. Consommation 2. Commercialisation
 3. Autre à préciser

17. Quelle est la dimension de vos parcelle?

18. Pourquoi utilisez vous ces dimensions?

19. Installez vous des Pépinière?

1. Oui 2. Non

20. Si oui pourquoi?

21. Si non pourquoi?

22. Quelle est la durée des plants en Pépinière?

1. Deux semaines 2. Trois semaines 3. Un mois
 4. Autre à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

23. Quels sont les différents écartements utilisés pour le repiquage du riz?

1. 10-10 cm 2. 10-20 cm 3. 20-20 cm
 4. 20-30 cm 5. Autre à préciser

24. Quelles sont les différentes variétés homologuées utilisez-vous pour la culture?

1. NERICA 2. SAHEL 3. WAR
 4. ROCK 5. Autre à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

25. Pourquoi utilisez vous ces variétés?

26. Comment obtenez vous ces variétés?

1. Achat 2. ANCAR 3. ISRA
 4. Salvation 5. autre à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

27. Quelles sont les variétés locales utilisées?

28. Utilisez vous des variétés rizicoles plus tolérantes à la salinité des sols?

1. Oui 2. Non

29. Quels sont les cycles de croissance des variétés rizicoles que vous cultivez?

1. 1-2 Mois 2. 2-3 Mois 3. 3-4 Mois
 4. Autres à préciser

30. Utilisez-vous des fertilisants dans vos parcelles?

1. Oui 2. Non

31. Si oui lequel?

1. Organiques 2. Chimiques 3. autres à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

32. Si non pourquoi

Matériels utilisés

33. Faites vous de labour au niveau des Rizières?

1. Oui 2. Non

34. Si oui, quel est le type de labour effectué?

1. A plat 2. Billon 3. Autre à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

35. Quels sont les différents outils utilisés pour le labour?

1. Kadandou 2. Tracteur 3. Déca
 4. Motoculteur 5. Autre à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

facteurs de salinisation et leur impact sur les rizières

36. Avez-vous noté des problèmes de salinité dans vos rizières?

1. Oui 2. Non

37. Si oui, depuis quelle période?

38. Quelles sont les causes de la salinisation dans vos vallées?

1. Baisse de la pluviométrie
 2. Mauvaises pratique agricoles
 3. Utilisation d'engrais chimique
 4. Avancer de la mer
 5. Autres à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

39. Quelles sont les périodes où la salinisation a entraîné la plus importante perte des surfaces rizicoles dans vos vallées?

40. Quelles sont les processus de salinisation des terres dans vos vallées?

1. Remontée capillaire 2. Brise de mer 3. Irrigation
 4. Autres à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

41. Parmi les facteurs du climat, quels sont ceux qui ont contribué à l'amplification de la salinisation dans vos vallées?

1. Déficit pluviométrique 2. Forte température
 3. Vent 4. Faiblesse de l'humidité
 5. Autre à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

42. Avez vous perdu une ou plusieurs parcelles rizicoles sous l'effet de la salinité?

1. Oui 2. Non

43. Si oui combien?

44. Quels sont les autres phénomènes combinés à la salinisation qui contribuent à la dégradation de vos vallées?

1. Erosionnement 2. Acidification
 3. Baisse de la fertilité 4. Autre à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

45. Quels sont les impacts environnementaux de la salinisation des terres rizicoles dans vos vallées?

1. Dégradation de la structure du sol
 2. Dégradation du tapis herbacé
 3. Dégradation des espèces végétales
 4. Autres à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

46. Comment avez vous perçu ces impacts environnementaux?

1. Formation d'une croûte saline sur le sol
 2. la perte de pieds d'arbre
 3. la disparition d'espèces végétales
 4. Stérilité du sol
 5. Autre à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

47. Comment percevez vous l'effet de la salinité sur le riz durant son cycle de croissance?

1. Changement de couleur 2. Forte mortalité
 3. Court cycle de croissance 4. Autres à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

48. Quelles sont les activités que vous faites à part la riziculture?

1. Mûnichage 2. Grande culture 3. Blevage
 4. Autre à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

49. Parvenez-vous à une autosuffisance alimentaire avec la production rizicole actuelle?

1. Oui 2. Non

50. Si oui comment?

Stratégie d'adaptation

51. Quelles sont les actions de lutte contre la salinisation qui ont été menées dans vos vallées?

1. Endiguement
 2. Reboisement
 3. Drainage
 4. Paillage
 5. Élargissement des parcelles
 6. Autres à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

52. Quels sont les ouvrages hydroagricoles mis en place pour faire face à la salinisation des terres rizicoles et par qui?

1. Digue moderne 2. Digue traditionnelle
 3. Barrage artisanal 4. Autres à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

53. Quels sont les rôles de ces ouvrages?

1. Artisanal 2. Hydrolique
 3. Protection des Rizières 4. Autres à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

54. Quelles sont les techniques agricoles qui vous permettent de minimiser l'effet de la salinité sur le cycle de croissance du riz?

1. Billonnage
 2. Paillage
 3. Développement de pépinière de riz et repiquage
 4. Apport de fertilisants organiques
 5. Apport de fertilisants chimiques
 6. Autres à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

55. comment faites-vous pour assurer les besoins en eau des plants de riz durant les périodes de sécheresses ou de déficite pluviométrique?

1. Irrigation par l'eau de puits
 2. Création des eaux de ruissellement
 3. Création des bassins de rétention
 4. Autre à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

Activités économiques

61. Pratiquez-vous du maraîchage dans vos rizières?

1. OUI 2. NON

62. Si OUI, quelles sont les différentes spéculations utilisées?

56. Comment qualifiez-vous l'efficacité de ces stratégies d'adaptation mise en place pour faire face à la salinisation des terres?

1. Très peu efficace 2. Peu efficace 3. efficace
 4. Très efficace

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

57. Quelles sont les difficultés que vous rencontrez dans la lutte contre la salinisation?

1. Manque de suivi des digues 2. Moyens financiers
 3. Équipements 4. Autres à préciser

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

58. Quelles sont les solutions que vous préconisez pour éradiquer le phénomène de salinisation dans vos vallées?

59. Comment faites-vous pour couvrir vos besoins alimentaires?

1. Achat 2. Petit 3. Aide 4. Autre à préciser

60. Quelle est la fréquence de vos achats de riz?

1. Par jour 2. Par semaine 3. Par mois
 4. Par an 5. Autre à préciser

63. Et combien gagnez-vous par saison pour le maraîchage?

64. Si NON pourquoi?

65. Quelles sont les autres cultures vivrières ou commerciales que vous faites?

- | | |
|--------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> 1. Maïs | <input type="checkbox"/> 2. Riz |
| <input type="checkbox"/> 3. Mil | <input type="checkbox"/> 4. Sorgho |
| <input type="checkbox"/> 5. Arachide | <input type="checkbox"/> 6. Patate |
| <input type="checkbox"/> 7. Sésame | <input type="checkbox"/> 8. Autre à préciser |

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

66. Combien de francs gagnez-vous en moyenne par saison ou année pour les cultures commerciales?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> 1. Moins de 10000 FCFA | <input type="checkbox"/> 2. 10000-25000 FCFA |
| <input type="checkbox"/> 3. 25000-50000 FCFA | <input type="checkbox"/> 4. 50000-100000 FCFA |
| <input type="checkbox"/> 5. plus de 100000 FCFA | |

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).