

UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



UFR DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

ECOLE DOCTORALE SCIENCES, TECHNOLOGIES ET INGENIERIE (EDSTI)

THESE DE DOCTORAT

**INFLUENCE DE *PARKIA BIGLOBOSA* (JACQ.) R. BR. EX G. DON ET
DES AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR LE SOL ET LE
RENDEMENT DU RIZ PLUVIAL EN CASAMANCE (SÉNÉGAL)**

Présentée par :

M. Jean BASSENE

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université Assane Seck de Ziguinchor

Spécialité : Agroforesterie et Productions Végétales

Soutenue publiquement le 23 / 07 / 2024, devant le jury composé de :

Président	M. Aliou GUISSÉ	Professeur Titulaire UCAD (Dakar, Sénégal)
Rapporteurs	M. Dioumacor FALL	Maître de Recherche, ISRA-CNRF (Dakar, Sénégal)
	M. Ousmane NDIAYE	Maître de Conférences, UIDT_ENSA (Thiès, Sénégal)
	M. Ngor NDOUR	Maître de Conférences, UASZ (Ziguinchor, Sénégal)
Examineur	M. Djibril SARR	Maître-assistant UASZ (Ziguinchor, Sénégal)
Directrice	Mme Siré DIEDHIOU	Maître de Conférences UASZ (Ziguinchor, Sénégal)

Dédicaces

A Mes parents

A Mes frères et sœurs

A Mes nièces et neveux, grandissez sous la protection Divine ;

A Ma tante Clémentine chez qui j'ai logé durant une grande partie de mon cycle universitaire ;

A mes oncles, tantes, cousins et cousines ;

A la mémoire des défunts de la famille BASSENE, particulièrement Davide Mathurin

Théodore Basséne qui nous a quitté à un âge si jeune. Ce n'est qu'un au revoir !

REMERCIEMENTS

Cet ouvrage est le fruit des efforts de ceux qui y ont cru et qui ont contribué à sa réalisation.

Ainsi, qu'il me soit permis d'exprimer toute ma reconnaissance à l'Unité de Formation et de Recherche des Sciences et Technologies de l'Université Assane SECK de Ziguinchor (UASZ) à travers le Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie (LAFE).

En particulier, je voudrais exprimer ma sincère gratitude au Docteur Siré DIEDHIOU, qui a bien voulu diriger mes travaux de recherche de thèse. De l'acceptation d'un projet de recherche au sein du laboratoire d'agroforesterie et d'écologie (LAFE) à la rédaction de ma thèse, elle m'a guidé et soutenu avec grande disponibilité et patience.

J'apprécie grandement l'honneur que les membres du jury me font en acceptant de consacrer une partie de leur temps si précieux à examiner ce travail. Puis-je leur en être grandement reconnaissant ! Je remercie particulièrement le Professeur Aliou GUISSÉ pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury. Je remercie vivement Dr. Dioumacor FALL, Dr. Ngor NDOUR et Dr. Ousmane NDIAYE pour avoir accepté d'être rapporteur de cette thèse. Mes remerciements vont également à l'endroit de Dr. Djibril SARR qui a accepté d'examiner cette thèse.

Je remercie l'ensemble du corps professoral du Département d'Agroforesterie pour la formation dispensée et les conseils et critiques sur mes travaux de recherche. Je veux citer : Dr Djibril SARR, chef du Département d'Agroforesterie, Dr Ngor NOUR, Dr Ousmane NDIAYE, Dr Mohamed Mahamoud CHARAHABIL, Dr Ismaïla COLY, Dr Antoine SAMBOU, Dr Aly DIALLO, Dr Joseph Saturnin DIEME, Dr Boubacar CAMARA, Dr Saboury NDIAYE, Dr Abdoulaye SOUMARE et Dr Oulimata DIATTA.

Au Dr Arfang O K GOUDIABY pour son accompagnement tout au long des activités de recherche.

A Abdoul Badara DIEDHIOU habitant de Katouré et relai du Maire de Nyassia dans le Bayotte-Est et son frère Lamine DIEDHIOU, chez qui j'ai séjourné durant mes travaux de recherche à Katouré ; leur hospitalité a été d'un grand réconfort.

Au maire de la commune de Nyassia, Monsieur DIALLO ainsi qu'à tous les chefs des villages du Bayotte-Est. Vous n'avez ménagé aucun effort pour nous accompagner tout au long des travaux d'enquête sur le terrain.

Aux autorités coutumières et aux exploitants du terroir de Bayotte-Est pour leur accueil et leur participation très constructive aux travaux de recherche sur le terrain.

A Mr Siméon BASSENE chercheur au centre ISRA/CRA de Djibélor ; qui m'a permis de disposer de semences certifiées pour la conduite des essais.

A mes camarades du laboratoire d'agroforesterie et d'écologie (LAFE), particulièrement : Yves Paterne SAGNA, Yaya DIATTA, Mamadou SOW, Ibrahima BADIANE, Pierre Claver César DIEDHIOU, Landing NDIAYE, Amadou Faye DIEDHIOU, Omar Boun Atap DIEDHIOU, qui n'ont ménagé aucun effort pour la mise en place et le suivi d'expérimentations ainsi que la collecte de données sur le terrain.

Une pensée profonde pour tous ceux qui m'ont appuyé dans le suivi et la collecte de données de terrain. Je voudrais nommer Fatou Kiné DIOUF, PAPA Ngagne MBAYE, Aliou SOW, Mané KAO, Aliane BASSENE et Joachin Xavier BASSENE qui malgré les difficultés d'exécution de certains travaux, n'ont économisé aucun effort pour l'aboutissement du travail.

TABLE DES MATIERES

Dédicaces	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES SIGLES	vii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX	x
RESUME.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE 1 : CADRE CONCEPTUEL DE L'ETUDE	4
1.1. <i>Parkia biglobosa</i> (Jacq) R. Br. Ex G. Don (Néré)	4
1.1.1. Taxonomie et systématique	4
1.1.2. Répartition géographique et Ecologie de <i>Parkia biglobosa</i>	4
1.1.3. Morphologie	4
1.1.4. Potentiel de fixation biologique de l'azote	6
1.1.5. Fonctions et usages.....	6
1.1.6. Influence de <i>P. biglobosa</i> sur la strate herbacée et sur les cultures	6
1.2. Le Riz (<i>Oryza sativa</i> L. et <i>Oryza glaberrima</i> Steud.....	7
1.2.1. Systématique, origine et domestication.....	7
1.2.2. Morphologie	7
1.2.3. Croissance et développement	8
1.2.4. Répartition géographique et écologie.....	9
1.3. La riziculture en Casamance.....	9
1.3.1. Les systèmes de production.....	9
1.3.2. Les contraintes de riziculture	10
1.4. Les amendements organiques (compost et biochar) et leur potentiel agricole.....	10
1.4.1. Le compost	10
1.4.2. Le biochar.....	11
1.5. La zone de l'étude.....	12
1.5.1. Situation géographique.....	12
1.5.2. Climat.....	12
1.5.3. Relief, hydrographie, et sol	13
1.5.4. Végétation	13
1.5.5. Caractéristiques socio-économiques	15
CHAPITRE 2 : Caractérisation de la végétation ligneuse dans les parcs à <i>Parkia biglobosa</i> (JACQ) R.BR. EX G. DON dans la vallée de Katouré, commune de Nyassia (Basse Casamance, Sénégal).....	16
Résumé	16
2.1. Introduction	18

2.2.	Matériel et méthodes	18
2.2.1.	Parcs d'étude.....	18
2.2.2.	Méthodes d'inventaire	19
2.2.3.	Traitement et analyse des données	21
2.3.	Résultats.....	22
2.3.1.	Richesse spécifique	22
2.3.2.	Importance relative des espèces ligneuses	23
2.3.3.	Diversité	24
2.3.4.	Groupement des espèces ligneuses en fonction de leurs valeurs d'importance .	25
2.3.5.	Hauteur	26
2.3.6.	Diamètre du tronc à hauteur de 1,30 m	27
2.3.7.	Recouvrement.....	28
2.4.	Discussion.....	29
2.5.	Conclusion	30
CHAPITRE 3 : Décomposition et effet de la litière de Parkia biglobosa (JACQ.)		
R. BR. EX G. DON sur la croissance et le rendement du riz en basse Casamance		
.....		32
	Résumé	32
3.1.	Introduction	33
3.2.	Matériel et méthodes	34
3.2.1.	Site d'étude.....	34
3.2.2.	Matériel végétal.....	35
3.2.3.	Dispositif expérimental	36
3.2.4.	Collecte et traitement des données	37
3.2.5.	Analyses statistiques	38
3.3.	Résultats.....	38
3.3.1.	Cinétique de décomposition de la litière	38
3.3.2.	Processus de perte de masse	40
3.3.3.	Germination.....	42
3.3.4.	Hauteur	42
3.3.5.	Tallage	43
3.3.6.	Feuilles	44
3.3.7.	Chlorophylle.....	45
3.3.8.	Cycle du riz	46
3.3.9.	Rendement.....	47
3.3.10.	Biomasse	47
3.3.11.	Corrélation entre variables et entre traitements.....	48
3.4.	Discussion.....	49
3.5.	Conclusion	50

CHAPITRE 4 : Effet du couvert de *Parkia biglobosa* (JACQ.) R. BR. EX G. DON et des amendements organiques sur le sol, la croissance et le rendement du riz dans la vallée de Katouré en Basse-Casamance, Sénégal 51

Résumé	51
4.1. Introduction	52
4.2. Matériel et méthodes	53
4.2.1. Site de l'expérimentation	53
4.2.2. Variété de riz	Error! Bookmark not defined.
4.2.3. Amendements	54
4.2.4. Dispositif expérimental	55
4.2.5. Conduite de l'essai	57
4.2.6. Collecte de sol et de données	57
4.2.7. Traitement et analyse statistique des données	58
4.3. Résultats.....	58
4.3.1. Sol.....	58
4.3.2. Le riz	61
4.3.3. Relation entre les éléments chimiques du sol et les paramètres du riz	67
4.3.4. Relation entre les paramètres et les facteurs étudiés	69
4.4. Discussion.....	70
4.5. Conclusion	73

CHAPITRE 5 : DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION GENERALE..... 74

5.1. Discussion générale	74
5.1.1. Introduction	74
5.1.2. Caractéristique de la végétation ligneuse dans les parcs à <i>Parkia biglobosa</i> en zone rizicole	75
5.1.3. La litière de <i>Parkia biglobosa</i> améliore-t-elle la croissance et le rendement du riz ?	76
5.1.4. La présence de <i>Parkia biglobosa</i> est – elle bénéfique sur le sol, la croissance et le rendement du riz ?.....	77
5.1.5. Les amendements organiques améliorent-ils les caractéristiques du sol, la croissance et le rendement du riz ?	78
5.2. Conclusion générale et perspectives	78
5.2.1. Conclusion générale	78
5.2.2. Perspectives	79

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... 81

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

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

APRAO : Amélioration Production Riz en Afrique de l'Ouest

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

CEC : Capacité d'échange cationique

C : Carbone

Ca : Calcium

C/N : carbone sur Azote

CEC : Capacité d'Echange Cationique

FAO : Food and Agriculture Organization

FAOSTAT : Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

JAS : Jour après semis

K : Potassium

N : Azote

P : Phosphore

SIG : Système d'information géographique

SNK : Student-Newman-Keuls

USAID : United States Agency for International Development

USDA : United States Department of Agriculture

UASZ : Université Assane Seck de Ziguinchor

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Aire de distribution de <i>P. biglobosa</i> en fonction de la pluviométrie annuelle moyenne (Hall et al., 1997).....	5
Figure 2 : Pied de néré dans la vallée de Katouré (A), Fleurs de néré (B), Fruits de néré (C) . .	5
Figure 3 : Morphologie de la plante du riz au stade de reproduction (Wopereis et al., 2008)...	8
Figure 4 : Différentes phases de développement du riz (ADRAO, 1992)	9
Figure 5 : Résidus de pommes d’anacarde pressées de moins d’an (A) et de plus d’un an (B)	11
Figure 6 : Carte de localisation de la zone d’étude	12
Figure 7 : Variations annuelles de la pluviométrie à la station aéroportuaire de Ziguinchor de 1991 à 2021 (Source de données : ANACIM Ziguinchor)	13
Figure 8 : Carte du réseau hydrographique et de la topographie de la zone du Bayotte-Est ...	14
Figure 9 : Carte des sols de la zone du Bayotte-Est (Stancioff, et al., 1985).....	14
Figure 10 : Carte de localisation des sites d’études dans la zone du Bayotte-Est.....	19
Figure 11 : Echantillonnage systématique dans le site de bas-fond.....	20
Figure 12 : Echantillonnage systématique dans le site de plateau	20
Figure 13 : Courbes d’accumulation des espèces identifiées dans les relevés pour chaque site	22
Figure 14 : Groupement des espèces en fonction de leur importance en plateau	25
Figure 15 : Groupement des espèces en fonction de leur importance en bas-fond.....	26
Figure 16 : variation des hauteurs des espèces.....	27
Figure 17 : variation des diamètres des espèces.....	28
Figure 18 : Répartition des recouvrements des espèces importantes dans les différents sites.	29
Figure 19 : La carte de localisation du site d’étude.....	35
Figure 20 : Dispositif expérimental de suivi de la décomposition.....	36
Figure 21 : Dispositif expérimental du riz	37
Figure 22 : Evolution de la perte de masse des litières en fonction des temps (mois).....	39
Figure 23 : Variation de la vitesse de décomposition des types de litière	40
Figure 24 : Modèles de détermination et de prédiction de la perte de masse et de litière de gousses (a et b), de tigelles (c et d) et de folioles (e et f).	41
Figure 25 : Taux de germination du riz en fonction des traitements.....	42
Figure 26 : Evolution de la hauteur des plants en fonction du temps	43
Figure 27 : Nombre de talles en fonction du temps pour les différents traitements.....	44

Figure 28 : Evolution du nombre de feuilles en fonction du temps	45
Figure 29 : Teneur de la chlorophylle en fonction des traitements	46
Figure 30 : Variation des cycles (50% épiaison et 80% maturité) en fonction des traitements	46
Figure 31 : Le rendement potentiel en fonction des différents traitements.....	47
Figure 32 : Graphe de l'analyse en composante principale des différents variables et traitements	48
Figure 33 : Dispositif expérimental en condition sous influence de l'arbre	56
Figure 34 : Dispositif expérimental de la zone sans arbre	56
Figure 35 : Texture des sols suivant la classification texturale américaine (USDA).....	58
Figure 36 : Variation de la hauteur moyenne en fonction des années selon la zone (A) et la distance (B)	61
Figure 37 : Variation de la hauteur moyenne en fonction de l'année (A) et de la zone (B) selon les amendements	62
Figure 38 : variation de la hauteur en fonction de l'année et de la distance suivant les amendements	62
Figure 39 : Variation du nombre de talles en fonction des années selon la zone (A) et la distance (B).....	63
Figure 40 : Variation du nombre de talles en fonction de l'année (A) et de la zone (B) selon les amendements	63
Figure 41 : Variation du nombre de talles en fonction de l'année et de la distance suivant les amendements	64
Figure 42 : Variation du rendement en fonction des années selon la zone (A) et la distance (B)	66
Figure 43 : Variation du rendement en fonction de l'année (A) et de la zone (B) selon les amendements	66
Figure 44 : variation du rendement en fonction de l'année et de la distance suivant les amendements	67
Figure 45 : Corrélation des caractéristiques du sol et des paramètres agromorphologiques du riz	68
Figure 46 : les relations entre les éléments chimiques du sol et le rendement.....	69
Figure 47 : Analyse discriminante linéaire (ADL) sur l'ACP des paramètres et des individus en fonction des distances.....	69
Figure 48 : Analyse discriminante linéaire (ADL) sur la projection des paramètres du sol et du riz en fonction des amendements	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Effectifs des espèces, des genres et des familles dans les sites d'étude	22
Tableau 2 : Variation des taxons dans la zone de plateau et de bas-fond	23
Tableau 3 : Valeur d'importance des espèces dans le site de Plateau	23
Tableau 4 : Valeur d'importance des espèces dans le site de Bas-fond	24
Tableau 5 : Indice de diversité global et variation entre relevés pour chaque site.....	25
Tableau 6 : Différents traitements et doses de litière utilisés.....	35
Tableau 7 : Hauteur des plants aux différentes dates d'observation pour les différents traitements	43
Tableau 8 : Variation du tallage en fonction du temps pour les différents traitements.....	44
Tableau 9 : Variation du nombre de feuilles en fonction des traitements et du temps	45
Tableau 10 : Variation des biomasses sèches (aérienne et racinaire) entre les traitements	47
Tableau 11 : Composition chimique des amendements organiques : biochar et compost d'anacarde	54
Tableau 12 : Caractéristiques dendrométriques des pieds de <i>Parkia biglobosa</i> sous lesquels les inventaires ont été effectués	55
Tableau 13 : Caractéristiques du sol en fonction du site, de la distance et l'apport d'amendement suivant les années	60
Tableau 14 : Variation du taux d'infertilité de talles et des grains en fonction de la zone, de la distance par rapport au pied de <i>Parkia</i> et des amendements au cours des années d'étude.....	65

RESUME

Le riz est l'un des aliments de base, essentiel pour la sécurité alimentaire au Sénégal. Il est la première source alimentaire de beaucoup de ménages ruraux en Casamance, qui notamment disposent de 42% des emblavures rizicoles du pays. La riziculture en Casamance est sujette à de nombreuses contraintes liées à la perte de fertilité des sols et aux changements climatiques, mais aussi à des problèmes anthropiques à travers des pressions drastiques sur les ressources naturelles. Face à ces entraves, il devient nécessaire d'établir des stratégies d'amélioration des sols à travers l'apport de matière organique accessible, mais également la préservation des arbres d'intérêt dans le paysage agraire contribuant ainsi à la préservation de l'environnement. C'est dans ce contexte que ces travaux de thèse ont été menés dans l'optique d'étudier l'effet de la présence de *Parkia biglobosa* et de l'apport de matière organique à forte valeur agronomique sur la productivité du riz et sur les caractéristiques du sol. Les objectifs spécifiques étaient : (i) de caractériser la végétation ligneuse dans les parcs à *Parkia biglobosa* en zone de riziculture ; (ii) d'étudier la décomposition de la litière de *Parkia biglobosa* et son effet sur la croissance et le rendement du riz ; (iii) de déterminer l'effet du couvert de *Parkia biglobosa* et des amendements organiques (compost et biochar) sur le sol et le riz en zone de vallée. Pour ce faire, trois activités ont été menées : (i) inventaire des ligneux des parcs à *Parkia biglobosa* en zone rizicole ; (ii) installation de dispositifs complètement randomisés en station pour examiner la décomposition et l'effet de la litière de *Parkia biglobosa* sur le riz ; (iii) installation de dispositifs par rapport au pied de *Parkia* (0 m, R/2, R et 2R) en milieu paysan pour suivre l'effet de la présence de *Parkia biglobosa* associé aux amendements organiques sur la productivité du riz et les paramètres physico-chimiques du sol. Il ressort des résultats, que *Parkia biglobosa* et *Elaeis guineensis* ont été les espèces les plus fréquentes, les plus abondantes et les plus dominantes ; et donc celles délibérément conservées par les producteurs dans les parcs rizicoles. Les gousses de *Parkia biglobosa* ont eu une décomposition beaucoup plus rapide, suivies des tigelles et des folioles ($p < 0,001$). Les apports de doses importantes de litière ($1,42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ à $1,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) ont abouti à des rendements en grain de plus de 65% significativement plus élevés ($p = 0,0003$) que le témoin ($0,75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) sans apport de litière. En présence de *Parkia biglobosa*, les rendements du riz ont été significativement plus élevés ($3,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, $p = 0,047$) au niveau des parcelles situées à la distance R/2-R du houppier. Toutes les formules d'amendements (compost et biochar) testées ont surpassé à plus de 53% le témoin non amendé en termes rendement du riz en présence de *Parkia* ou dans la zone sans arbre. Les constituants du sol tels que la matière organique, l'azote et les bases échangeables ont été plus élevés dans les parcelles situées sous *Parkia biglobosa* et dans celles amendées comparées aux parcelles témoin non amendées ($1,34\% \text{ M}$, $0,12\% \text{ N}$, $3,2 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ Ca}^{2+}$, $1,2 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ Mg}^{2+}$, $0,025 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ Na}^{+}$, $0,45 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ K}^{+}$). Ces aspects laissent entrevoir que *Parkia biglobosa*, présente dans les parcelles rizicoles n'est par un facteur limitant pour une bonne croissance du riz. Tout au contraire, associée avec le compost et le biochar, elle améliorerait substantiellement la fertilité des sols et par conséquent la croissance et le rendement du riz.

Mots clés : *Parkia biglobosa*, compost, biochar, sol, riz.

ABSTRACT

Rice is one of the staple foods essential to food security in Senegal. It is the primary food source for many rural households in Casamance, which occupied 42% of the country's paddy fields. Rice cultivation in Casamance is currently subject to numerous constraints linked to soil fertility loss and climate change, but also to anthropogenic problems through drastic pressure on natural resources. Faced with these obstacles, it becomes necessary to establish soil improvement strategies through the provision of accessible organic matter, but also the preservation of trees of interest in the agrarian landscape, thus contributing to the preservation of the environment. It is in this sense that this thesis work was carried out with the objective of studying the effect of the presence of *Parkia biglobosa* and the supply of organic matter with high agronomic value on the productivity of rice and on the soil characteristics. The specific objectives were: (i) to characterize the woody vegetation in *Parkia biglobosa* parks in rice growing areas; (ii) evaluate the decomposition of *Parkia biglobosa* litter and its effect on rice growth and yield; (iii) determine the effect of *Parkia biglobosa* cover and organic amendments (compost and biochar) on soil and rice in the valley area. To do this, three activities were mainly carried out: (i) inventory of *Parkia biglobosa* woody parks in rice-growing areas; (ii) installation of completely randomized on-station devices to examine the decomposition and effect of *Parkia biglobosa* litter on rice; (iii) installation of devices in relation to the base of *Parkia* (0 m, R/2, R and 2R) in a farming environment to monitor the effect of the presence of *Parkia biglobosa* associated with organic amendments on the productivity of rice and the physicochemical parameters of the soil. It appears from the results that *Parkia biglobosa* and *Elaeis guineensis* were the most frequent, most abundant and most dominant species; and therefore, those deliberately preserved by producers in these rice parks. Pods of *Parkia biglobosa* had much faster decomposition followed by stems and leaflets ($p < 0.001$). The addition of large doses of litter ($1.42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ to $1.76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) resulted in grain yields of more than 65% significantly higher ($p = 0.0003$), than the control ($0.75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) without litter. In the presence of *Parkia biglobosa*, rice yields were significantly greater ($3.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, $p = 0.047$) in plots located at distance R/2-R from the crown. All amendment formulas (compost and biochar) tested outperformed the control by more than 53% in terms of rice yield in the presence of *Parkia* or in the tree-free zone. Soil constituents such as organic matter, nitrogen and the exchangeable bases were more important in the plots located under *Parkia biglobosa* and in those amended compared to those of the control plots ($1,34\% \text{ M}$, $0,12\% \text{ N}$, $3,2 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ Ca}^{2+}$, $1,2 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ Mg}^{2+}$, $0,025 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ Na}^{+}$, $0,45 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ K}^{+}$). These aspects suggest that *Parkia biglobosa*, presence in the rice plots, is not a factor limiting factor for rice growth. On the contrary, associated with compost and biochar, it has improved soil fertility and consequently the growth and yield of rice.

Keywords: *Parkia biglobosa*, compost, biochar, soil, rice.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le développement agricole durable est une préoccupation majeure dans de nombreuses régions du monde, en particulier en Afrique subsaharienne où l'agriculture joue un rôle important dans la sécurité alimentaire et la réduction de la pauvreté (Sissoko, 1998; Smith, 2004). La riziculture est parmi les activités agricoles essentielles pour la sécurité alimentaire et le développement économique de nombreux pays d'Afrique. Selon la FAO, le riz est demeuré jusqu'à ce jour, la deuxième céréale la plus produite et la plus consommée en Afrique après le maïs (FAOSTAT, 2022). Le Sénégal est classé à la 7^{ième} place des pays les plus gros consommateurs de riz, avec une consommation évaluée à plus de 1800 tonnes, soit un taux d'évolution de 27% entre 2012 et 2019 (Fall, 2016; Zucchini et *al.*, 2020; FAOSTAT, 2022). Cette consommation dépasse largement la production nationale, estimée en 2020 à 1,3 million de tonnes de riz et qui ne couvre à peine que 28% des besoins en riz du pays (Thiao et Larbi, 2022).

La production de riz au Sénégal est assurée par deux systèmes de riziculture bien distincts : le système irrigué qui représente 27% de la surface rizicole et celui pluvial qui est largement pratiqué en Casamance et représente 42% des emblavures (ANSD, 2013 ; Fall, 2016; Fall, 2018). La riziculture pluviale représente cependant la composante la plus importante en ce sens qu'elle est la première source alimentaire de beaucoup de ménages ruraux, notamment en Basse Casamance (Zucchini et *al.*, 2020).

La Basse Casamance, située dans la partie sud-ouest du Sénégal, dispose en effet d'un potentiel rizicole important, grâce à son climat humide, son réseau hydrographique dense et sa longue tradition agraire (Sané et *al.*, 2010 ; Bacci et Diop, 2015). Elle constitue avec le delta inférieur du Niger, l'un des plus anciens centres rizicoles d'Afrique, observé dès 1500 avant J.-C. (Bezançon, 1993 et 1995 ; Montoroi, 1995). Le système de production rizicole adopté en Basse Casamance est assez diversifié et adapté à différents milieux naturels : bas-fond, mangrove et plateau (Dresch, 1949; Péliissier, 1958). Ce système repose sur le savoir-faire local et sur des pratiques agroécologiques qui visent à préserver les ressources naturelles et à maintenir l'équilibre entre les activités humaines et l'environnement (Sané et *al.*, 2018).

La riziculture en Basse Casamance fait face cependant à de nombreux défis liés à la perte de fertilité des sols, aux changements climatiques : à la baisse des précipitations, à la hausse des températures, à la salinisation des sols, à l'érosion hydrique, mais également aux problèmes socio-économiques, notamment la pression démographique exercée sur les ressources naturelles (Montoroi, 1995; Fall, 2018; Diatta et *al.*, 2019; Fall et Sane, 2020; Zucchini et *al.*, 2020; Badiane, 2022). Ces facteurs ont pareillement un impact sur le maintien des arbres

d'intérêt dans les paysages agraires qui tendent à disparaître malgré leur rôle important dans l'amélioration de la productivité des cultures, la santé des sols, la biodiversité, la durabilité des pratiques agricoles et leur résilience (Chevalier, 1924; Solly et al., 2020). La présence d'arbres dans les champs permet une plus grande diversité biologique et crée des microclimats favorables pour augmenter le rendement des cultures (Rue, 2018). De même, les populations tirent d'innombrables services, spécifiquement, alimentaires, économiques, médicinaux et culturels des espèces ligneuses comme *Parkia biglobosa* (Diatta et al., 2016; Ouoba et al., 2018).

Parkia biglobosa est une légumineuse très fréquente dans les savanes, les vallées et les plaines du Sénégal jusqu'en Ouganda (Hopkins, 1983; Hall et al., 1997; Boffa, 2000; Lamien et al., 2011; Lompo et al., 2018). Cette abondance de *Parkia* dans le paysage agricole du Sénégal et particulièrement en Basse Casamance est essentiellement favorisée par le fait, qu'au cours du défrichage, l'arbre est conservé pour les besoins alimentaires, économiques et sociologiques (Chevalier 1924; Goudiaby, 2013; Ndiaye et al., 2017; Diatta et al. 2020 ; Diatta et al., 2021). La litière de *Parkia biglobosa*, malgré, sa quantité annuelle faible, estimée à 0,035 kg.m⁻².an⁻¹, présente une teneur élevée en nutriments, en particulier en azote dû en particulier à sa capacité d'établir une symbiose fixatrice d'azote avec les rhizobiums, (Matig, 2002; Baye-Niwah et al., 2019). La décomposition de cette litière contribue à l'amélioration de la fertilité des sols, et apporte des nutriments précieux aux cultures associées (Bayala et al., 2005; Buba, 2015a; Aboyeji et al., 2019). Néanmoins, à cause de sa faible quantité de litière, l'intégration de *Parkia* dans le système agricole serait meilleure si elle impliquait sa combinaison avec les résidus organiques. Dans plusieurs pays, et au Sénégal en particulier, les résidus organiques comme le compost de pomme d'anacarde pressée, riche en éléments nutritifs (1,69% N, 0,44% P et 0,58% K) et le biochar, issu de la pyrolyse incomplète du charbon, sont inexploités malgré leur effet promoteur sur le rendement des cultures (Mathew et al., 2009 ; Mathew et al., 2011; Diatta et al., 2019; Sagna et al., 2019). L'apport de biochar dans les sols augmente la rétention d'eau du sol, améliore la structure du sol et la disponibilité des nutriments, stimule l'activité microbienne bénéfique pour la fertilité et la santé des sols (Lévesque, 2017).

Considérant les perspectives encourageantes de la combinaison de l'effet de *Parkia biglobosa* avec le compost et le biochar, il serait intéressant d'étudier leur effet sur le rendement du riz, la fertilité des sols et sur la diversité floristique herbacée en Basse Casamance. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette thèse qui a pour objectif général de contribuer à l'évaluation agronomique des parcs *Parkia biglobosa* associé à des amendements organiques accessibles tels que le compost d'anacarde et le biochar et aux avantages de leur utilisation comme moyen naturel

complémentaire pour améliorer la fertilité des sols et assurer une bonne productivité de la culture du riz pluviale dans les vallées de la Basse Casamance. Il s'agit spécifiquement de :

- caractériser la végétation ligneuse dans les parcs à *Parkia biglobosa* en zone de riziculture dans la vallée de Katouré ;
- étudier la décomposition de la litière de *Parkia biglobosa* et de son effet sur la croissance et le rendement du riz en station ;
- déterminer l'effet du houppier de *Parkia biglobosa* et des amendements organiques : compost et biochar, sur les caractéristiques du sol et le développement du riz dans la vallée de Katouré.

Nos travaux se sont fondés principalement sur les hypothèses selon lesquelles, la litière de *Parkia biglobosa* est dépourvue de substance allélopathique pouvant empêcher un bon développement du riz. Sa teneur en nutriments favoriserait plutôt une meilleure croissance et un bon rendement du riz. Il s'y ajoute, les amendements avec le compost et le biochar apportés sous le houppier de *Parkia biglobosa* auraient une influence favorable sur les propriétés physiques et chimiques du sol d'une part, et d'autre part sur la croissance et le rendement du riz dans les vallées.

Ce présent travail est structuré en cinq chapitres principaux dont trois sont présentés sous la forme d'articles publiés, soumis ou en préparation.

- La synthèse bibliographique sur *Parkia biglobosa*, la riziculture en Casamance, l'importance agronomique des amendements organiques et la description de la zone d'étude sont présentées au chapitre 1.
- La végétation ligneuse dans les parcs à *Parkia biglobosa* en zone rizicole est décrite au chapitre 2.
- La décomposition et l'effet de la litière de *Parkia biglobosa* sur la croissance et le rendement potentiel du riz en station sont étudiés au chapitre 3.
- L'influence de la présence de *Parkia biglobosa* associé aux amendements organiques (compost biochar) sur les caractéristiques du sol, sur la composition des herbacées et sur la productivité du riz en milieu paysan, est traitée dans le chapitre 4.
- Une synthèse globale et comparative du développement du riz sous l'influence de *Parkia biglobosa* et des parcs étudiés, accompagnée des perspectives, est établie en discussion générale et conclusion générale dans le dernier chapitre 5.

CHAPITRE 1 : CADRE CONCEPTUEL DE L'ETUDE

1.1. *Parkia biglobosa* (Jacq) R. Br. Ex G. Don (Néré)

1.1.1. Systématique et taxonomie

Parkia biglobosa, plus connue sous son nom vernaculaire, « néré » ou encore caroubier africain, est rangée dans la classe des *Magnoliopsida*, de l'ordre des *Fabales*, de la famille des *Mimosaceae* et du genre *Parkia*. (Sina, 2006). Le genre *Parkia* compte à ce jour 34 espèces disséminées un peu partout en Amérique du Sud (18 espèces), en Afrique (3 espèces outre le néré dont une à Madagascar) et en Asie (12 espèces) (Hopkins, 1983 ; Luckow et Hopkins, 1995 ; Luckow, 2005).

1.1.2. Répartition géographique et Ecologie de *Parkia biglobosa*

Quatre espèces du genre *Parkia* sont répertoriées en Afrique, parmi lesquelles *Parkia biglobosa* (*P. biglobosa*) demeure la plus répandue (Boffa, 1999 ; Sina, 2006). L'espèce est rencontrée du Sénégal en Ouganda (figure 1) (Hall et al., 1997 ; Lamien et al., 2011 ; Lompo et al., 2018). Dans ces différentes zones, *P. biglobosa* est en particulier très abondante aussi bien dans les savanes que dans les plaines (Sabiiti et Cobbina, 1992 ; Boffa, 2000 ; Froumsia et al., 2019). Au Sénégal, particulièrement dans la région naturelle de la Casamance, plusieurs travaux d'inventaire effectués ont révélé une grande distribution de l'espèce et son adaptabilité dans la zone (Ndiaye et al., 2017 ; Charahabil et al., 2018 ; Ngom et al., 2018 ; Coly et al., 2020a). Cette adaptabilité de *P. biglobosa* dans la région naturelle de la Casamance pourrait être liée aux caractères écologiques préférentiels de l'espèce qui se développe sous une pluviométrie de 500 mm à 2200 mm (Sina, 2006).

1.1.3. Morphologie

P. biglobosa mesure entre 7 et 15 mètres de hauteur (figure 2A) (Berhaut, 1975; Coly et al., 2020b ; Diatta et al., 2021). Cependant, il peut atteindre 30 m de hauteur dans certaines conditions (Hopkins, 1983 ; Sabiiti et Cobbina, 1992). La distribution verticale des racines est peu profonde, avec environ 60% des racines se trouvant dans les 20 cm de profondeur du sol (Tomlinson et al., 1998). Les feuilles de l'arbre sont bipennées, alternes avec des rachis longs de 20 à 40 cm portant 10 à 15 paires de pinnules longues de 12 à 15 cm en moyenne. Chaque pinnule porte en soi 30 à 60 paires de folioles oblongues, glabres, longues de 7 à 15 mm et larges de 2 à 3 mm (Berhaut 1975). L'arbre produit des fleurs qui sont hermaphrodites, petites, rouges et densément réunies en capitules sphériques larges de 4 à 5 cm (figure 2B), pédonculés de 10 à 30 cm, pendants, parfois sous forme de grappes, à l'extrémité des branches de l'arbre

(Berhaut, 1975 ; Lamien et al., 2011). Chaque capitule peut se développer pour donner 20 gousses en moyenne (Hopkins, 1983). Les gousses produites sont généralement aplaties longues de 25 à 30 cm et larges de 15 à 20 mm. Elles sont charnues et de couleur verte lorsqu'elles sont jeunes, mais brun foncé à maturité et contenant des graines noires entourées d'une pulpe farineuse jaune qui remplit toute la gousse (figure 2C) (Berhaut 1975 ; Hopkins 1983).

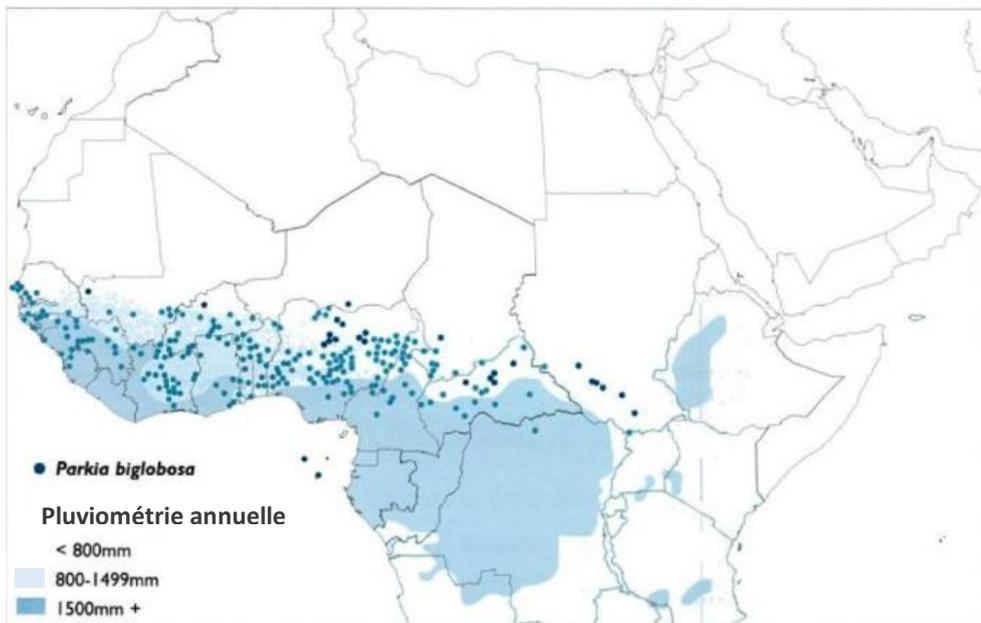


Figure 1 : Aire de distribution de *P. biglobosa* en fonction de la pluviométrie annuelle moyenne (Hall et al., 1997)

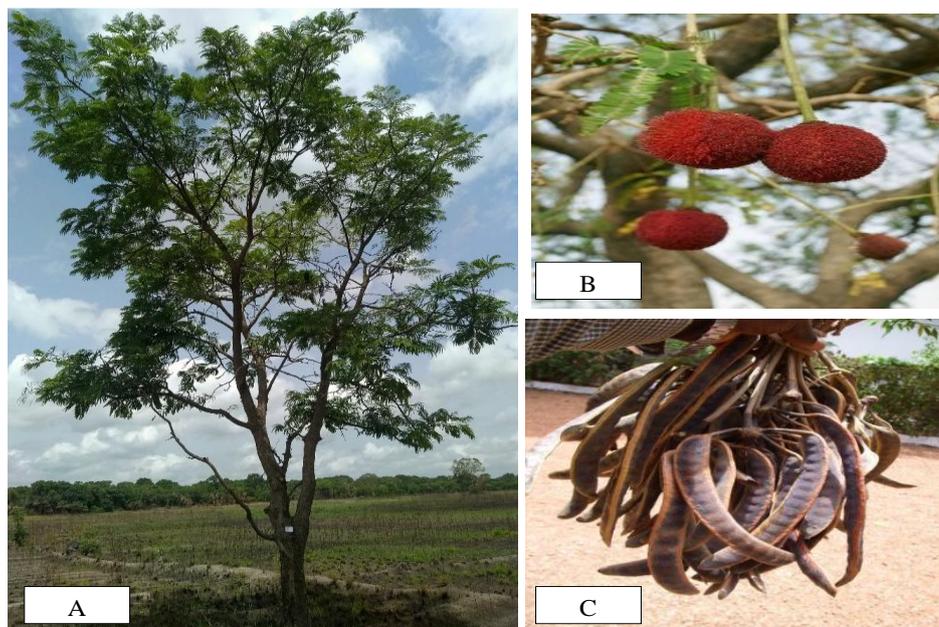


Figure 2 : Pied de néré dans la vallée de Katouré (A), inflorescences de néré (B), grappes de néré (C).

1.1.4. Potentiel de fixation biologique de l'azote

Le genre *Parkia* de la famille des *Mimosaceae* fait partie des taxons comportant des espèces fixatrices d'azote (Brewbaker, 1989). Les études existantes sur la nodulation chez *Parkia biglobosa* sont contradictoires. En effet, l'espèce *Parkia biglobosa*, désignée comme fixatrice d'azote (Eyog-Matig et al., 2001) est considérée selon certains auteurs comme une plante non nodulante, dépourvue de toute aptitude de symbiose (Tomlinson et al., 1995; Dommergues et al., 1999; Roggy et Prévost, 1999). Pour Tedersoo et al., (2018), la capacité de nodulation de *Parkia* pourrait avoir été perdue secondairement avec l'évolution. Néanmoins, des recherches sont entreprises pour améliorer l'aptitude de *Parkia biglobosa* à fixer l'azote (Roger et al., 1996).

1.1.5. Fonctions et usages

De nombreuses études socio-économiques et ethnobotaniques conduites en milieu rural, ont montré que les populations rurales tirent d'innombrables services, notamment alimentaire, économique, médicinale et culturelle de l'utilisation de *P. biglobosa* (Koura et al., 2011 ; Zinsouklan et al., 2015 ; Musara et al., 2020). Les graines fermentées riches en protéines et en acides aminés communément appelées « nététo » au Sénégal ainsi que la pulpe riche en carbohydrates sont très appréciées dans plusieurs pays d'Afrique et représentent une source non négligeable de revenus en milieu rural (Ferré et Muchnik, 1993 ; Agbahungba et Depommier, 1989 ; Alexandre et Marouzé, 1994 ; Muchnik, 1997 ; Codjia et al., 2003). Les différentes parties de l'arbre sont largement utilisées en médecine traditionnelle en Casamance (Diatta et al., 2020). *P. biglobosa* a une valeur culturelle et culturelle dans plusieurs sociétés (Ouedraogo, 1995 ; Touré, 2013).

1.1.6. Influence de *P. biglobosa* sur la strate herbacée et sur les cultures

Le microenvironnement créé par *P. biglobosa* dans un paysage donné a tendance à influencer la composition floristique, la fréquence et l'abondance du tapis herbacé (Akpo et Grouzis, 2004 ; Buba, 2015b ; Diallo et al., 2015 ; Kumar et al., 2022). En effet, certains auteurs ont rapporté que l'ombre de *P. biglobosa* influencerait de façon positive plusieurs espèces d'herbes poussant sous sa canopée, notamment les graminées du genre *Panicum* et *Brachiaria* (Sabiiti et Cobbina, 1992). Sanou et al., (2017) ont montré que le tapis d'herbes observé sous *P. biglobosa* est plus divers que celui localisé en dehors du houppier de *P. biglobosa*. Cette forte diversité pourrait être liée au piégeage des semences d'herbe transportées par le vent sous la canopée de l'arbre, aux oiseaux migrateurs qui transportent les graines dans le houppier de *P. biglobosa* et y dispersent des semences d'herbes, mais également aux rongeurs et ruminants à travers leurs

déjections (Clark et *al.*, 2001; Pakeman, 2001 ; Vellend et *al.*, 2003 ; Clark et *al.*, 2005; van Leeuwen et *al.*, 2020; Raji et *al.*, 2021).

L'effet bénéfique de *P. biglobosa* sur certaines spéculations de grande culture notamment le mil, l'arachide, le sorgho a été mis en évidence par plusieurs auteurs (Ahmed et *al.*, 2011 ; Pouliot et *al.*, 2012 ; Sanou et *al.*, 2012). Cependant, Kessler, (1992) a montré que *P. biglobosa* aurait une influence négative sur les cultures avec des rendements devenant beaucoup plus affectés à mesure que l'on se rapproche du pied de l'arbre. L'influence mitigée de *P. biglobosa* sur les cultures pourrait être expliquée par la variabilité de la taille du houppier des arbres ou encore par la qualité du sol de la zone concernée (Bayala et *al.*, 2002).

1.2. Le Riz (*Oryza sativa* L. et *Oryza glaberrima* Steud

1.2.1. Systématique, origine et domestication

Le riz appartient à la classe des Monocotylédones, à l'ordre des Poales, à la famille des Poaceae et au genre *Oryza* (Berhaut, 1971). Ce genre compte 24 espèces dont deux seulement sont cultivées comme céréales : *O. sativa* L. et *O. glaberrima* Steud. (Portères, 1956 ; Bezançon et *al.*, 1989 ; Oura, 2011). C'est en Asie du Sud-Est que l'espèce *O. sativa* a été cultivée pour la première fois, alors que *O. glaberrima* l'a été en Afrique soudanienne (Chevalier, 1924 ; Portères, 1956 ; Berhaut, 1971).

1.2.2. Morphologie

O. glaberrima et *O. sativa* sont des herbacées annuelles, autogames, diploïdes ($2n = 24$ chromosomes) avec une taille pouvant aller de 0,5 à 1,5 m de hauteur (Bezançon, 1993 ; 1995). Les chaumes sont comprimés à la base, dressés, spongieux et glabres. Les feuilles peuvent mesurer jusqu'à 30 cm de long pour l'espèce *O. glaberrima* et atteindre 40 cm chez *O. sativa* (Figure 3). Le limbe de leurs feuilles est plat, linéaire et glabre (Morishima et *al.*, 1962). L'inflorescence est une panicule portant des épillets et variant entre 15 et 40 cm de long selon l'espèce. Les épillets sont oblongs, mutiques la plupart du temps et persistants (Berhaut, 1971).

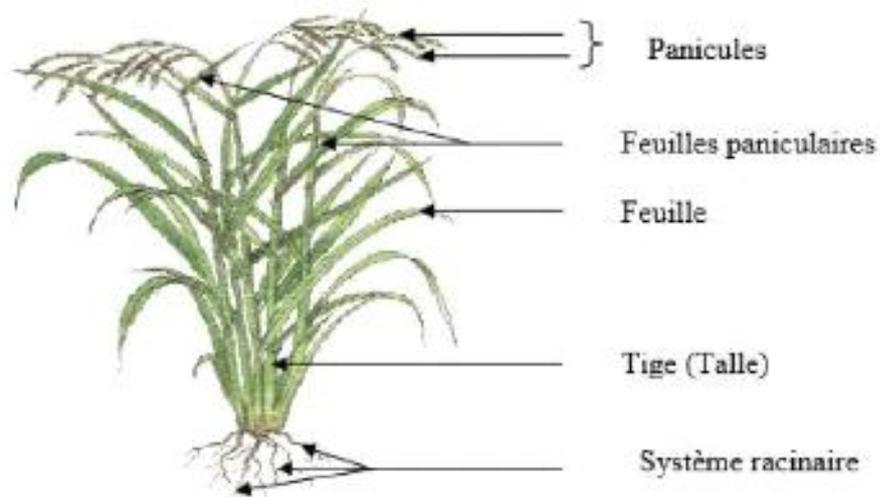


Figure 3 : Morphologie de la plante du riz au stade de reproduction (Wopereis et al., 2008)

1.2.3. Croissance et développement

Le cycle du riz comprend différents stades de développement qui peuvent être regroupés en trois grandes phases de croissance : la phase végétative, la phase reproductive et la phase de maturation (Figure 4).

La phase végétative démarre avec la germination, suivie de la levée ou stade plantule, et enfin du stade tallage. La phase de germination de même que la levée sont très sensibles aux conditions environnementales. La germination dure de 5 à 20 jours selon la température et aboutit au stade de levée avec l'apparition progressive de feuilles. Le repiquage du riz est conseillé au stade 3 feuilles. La phase du tallage commence à partir du stade 5 feuilles et a une durée qui permet de différencier les variétés à cycle court, moyen et long. Le tallage s'achève avec l'initiation paniculaire. Durant toute la phase végétative, la plante n'aura besoin que de peu d'eau pour sa croissance (Lacharme, 2001; Vergara, 1984; Wopereis et al., 2008).

La phase reproductive regroupe le stade initiation paniculaire, le stade de la montaison et le stade d'épiaison-floraison marqué par la différenciation des organes floraux (glumelles, étamines et stigmates). Cette phase dure 30 à 35 jours et est très sensible aux conditions défavorables du milieu ; les plants ont besoin de beaucoup d'eau durant cette phase (Lacharme, 2001 ; Wopereis, 2008).

La phase de maturation dure 25 à 40 jours et concerne essentiellement la formation des grains de riz avec les stades de grain laiteux, grain pâteux et le stade de grain dur (Lacharme, 2001; Vergara, 1984; Wopereis et al., 2008).

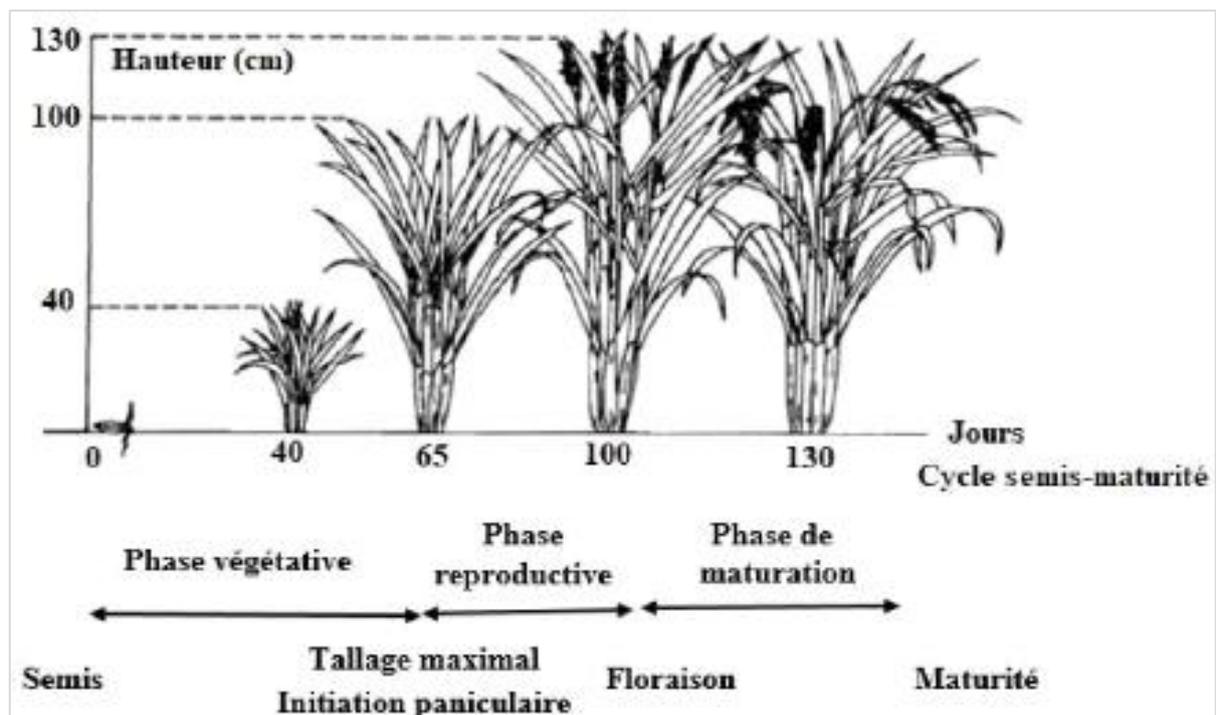


Figure 4 : Différentes phases de développement du riz (ADRAO, 1992)

1.2.4. Répartition géographique et écologie

Le riz est cultivé dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées. L'espèce africaine (*O. glaberrima*) est cultivée en Afrique de l'ouest, du Niger jusqu'aux limites des forêts denses et sur le littoral de la côte guinéenne (Chevalier, 1932 ; 1937). Le riz asiatique (*O. sativa*) a une expansion beaucoup plus large et se cultive en Asie et en Afrique (Chevalier, 1937; Musset, 1942 ; Portères, 1956). A ce jour, près de 150 000 variétés de ces deux espèces sont cultivées dans le monde (Courtois, 2007). La culture du riz requiert préférentiellement un sol riche en argile, capable de retenir l'eau, avec un pH allant de 4 à 8. La température optimale pour la culture du riz se situe entre 30 et 34°C (Adegbola et *al.*, 2014).

1.3. La riziculture en Casamance

1.3.1. Les systèmes de production

La riziculture en Casamance est principalement dépendante de la pluie et est pratiquée sur toute la topo-séquence, du plateau à la mangrove en passant par les zones de bas-fonds.

La riziculture de plateau se pratique sur des terres en jachère situées sur la topo-séquence la plus élevée (Dresch, 1949; Fall 2018). La récolte est essentiellement destinée à la consommation familiale (Fall 2016).

La riziculture de bas-fond : C'est le système de production qui domine dans la zone de Casamance, particulièrement en basse Casamance. La pratique culturale se caractérise par l'aménagement de casiers rizicoles sur de petites surfaces, 12 à 16 m² environ, labourées en billons à l'aide du kadiandou (Pélissier, 1958 ; Montoroi, 1995).

La riziculture de mangrove est pratiquée dans les plaines récupérées de la mangrove. Dans ce système de culture, les sols sont principalement caractérisés par une forte acidité et la présence de sel (ISRA 2012). Toutefois, c'est lorsque les flux d'eau douce deviennent élevés que ces terres sont utilisées pour la riziculture (Fall 2016).

1.3.2. Les contraintes de la riziculture

Les contraintes de la riziculture sont de plusieurs ordres : pédoclimatique, liées aux pratiques culturales, liées aux ravageurs. En Basse Casamance, les contraintes de la riziculture de bas-fonds sont surtout d'ordre pédoclimatique, liées à la salinisation des sols, à la toxicité ferreuse et à l'irrégularité de la pluviométrie (Manzelli et al., 2015 ; Diatta et al., 2020). La salinisation des sols, souvent causée par une montée de la langue saline et exacerbée par une rareté des pluies, peut empêcher la maturation du riz et provoquer ainsi une baisse du rendement (Posner et al., 1985; Albergel et al., 1993; Manzelli et al., 2015). L'acidité des rizières conduit à une disponibilité importante de fer dans la solution du sol provoquant une absorption excessive du fer par les plants de riz. Il s'ensuit une apparition de petites tâches rougeâtres à brunâtres sur les feuilles âgées du riz, appelée la toxicité ferreuse du riz. La toxicité ferreuse ralentit la croissance du riz, affecte sévèrement le tallage, réduit le rendement du riz et dans certains cas, impacte la survie des plants de riz (Albergel et al., 1993; Audebert, 2006; Sagna et al., 2019). A ces contraintes, peuvent s'ajouter, le manque de mécanisation et l'utilisation d'intrants agricoles pour une intensification des systèmes de production (Manzelli et al., 2015). Les contraintes liées aux ravageurs qui occasionnent d'importants dégâts durant les phases végétative et de maturité des plantes devront également être mentionnées avec les lépidoptères foreurs, la cécidomyie responsable de la galle tubulaire, les oiseaux granivores (Chaudhary et al., 2003; Wopereis et al., 2008) etc.

1.4. Les amendements organiques (compost et biochar) et leur potentiel agricole

1.4.1. Le compost

Le compost est issu de résidus de pommes d'anacarde pressées et laissées en décomposition (figure 5). Ce compost, amendé au sol, fournit de la matière organique minéralisable et des éléments nutritifs immédiatement disponibles pour la plante et les microorganismes. L'apport de compost stimule les activités microbiennes, améliore la porosité des sols, accroît la capacité

de rétention hydrique des sols, augmente la CEC des sols et améliore le rendement des cultures (Albrecht, 2007 ; Diatta *et al.*, 2019 ; Sagna *et al.*, 2019). L'acidité des sols peut être réduite en amendant le sol avec du compost (Ngongo et Lunze, 2000). L'utilisation du compost, grâce à son effet bénéfique sur la santé des sols et des plantes, permet de réduire les besoins en intrants chimiques (Misra *et al.*, 2005; Delvaux et Agnan, 2023; Traore *et al.*, 2023).



Figure 5 : Résidus de pommes d'anacarde pressées de moins d'un an (A) et de plus d'un an (B)

1.4.2. Le biochar

Le biochar est un matériau poreux issu de la pyrolyse incomplète de la biomasse végétale lignifiée. L'origine de l'amendement en biochar des terres agricoles proviendrait, il y'a 500 années, des producteurs agricoles d'Amazonie qui incorporent entre autres fertilisants des quantités de charbon au sol (Boukheris *et al.*, 2020). Ces terres, aujourd'hui dénommées « terra preta », sont des sols fertiles avec une teneur en matière organique pouvant aller jusqu'à 13% (Laird *et al.*, 2010). L'utilisation du biochar permet de séquestrer le carbone dans le sol et de réduire ainsi les émissions de gaz à effet de serre (Naisse, 2014; Ngo, 2014). Le biochar représente un habitat idéal propice pour les microorganismes ; son apport au sol augmente la rétention d'eau, la porosité, la disponibilité des nutriments pour les plantes et les microorganismes, diminue la densité du sol et améliore ainsi le rendement des cultures (Lehmann *et al.*, 2011; Lévesque, 2017 ; Diatta *et al.*, 2019 ; Sagna *et al.*, 2019). De plus, l'apport de biochar dans les sols agricoles limite les pertes de nutriments par lessivage, réduit les pathogènes, mais également diminue les besoins d'utilisation d'engrais chimiques et de pesticides (Nyami *et al.*, 2016 ; Saba, 2019).

1.5. La zone de l'étude

1.5.1. Situation géographique

Notre étude a été effectuée dans la commune de Nyassia, située à l'ouest du département de Ziguinchor. Dans cette commune, l'étude a particulièrement été menée dans le Bayotte-Est, zone qui polarise les villages de Toubacouta, Katouré, Boffa Bayotte et Bouhouyou (Figure 6).

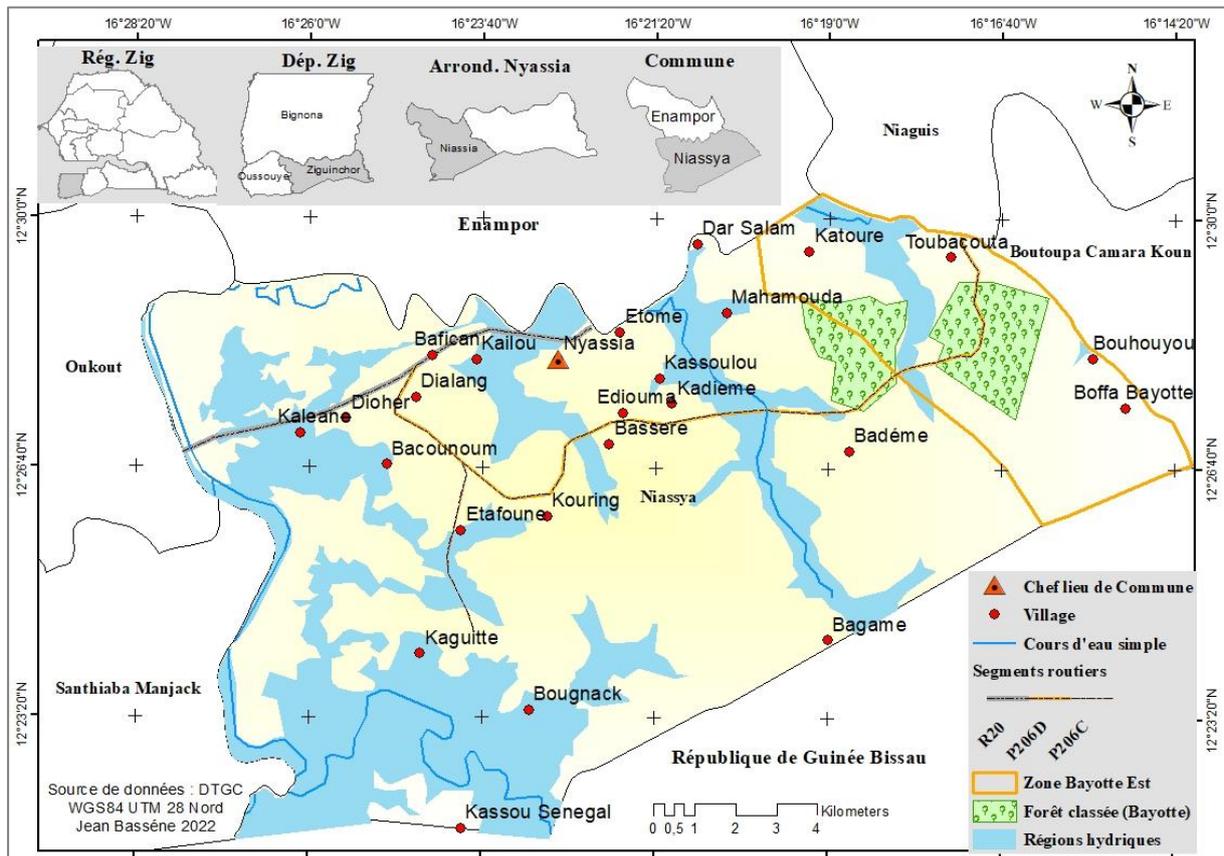


Figure 6 : Carte de localisation de la zone d'étude

1.5.2. Climat

La commune de Nyassia est située dans la zone agroécologique de la Basse Casamance, avec un climat de type Sud-soudanien côtier dominé par deux saisons : une saison sèche qui s'étale d'octobre à mai et une saison pluvieuse qui va de juin à mi-octobre (Sagna, 2005). La pluviométrie moyenne annuelle est de 1300 mm avec des maxima qui peuvent aller jusqu'à 1700 mm/an (Figure 7).

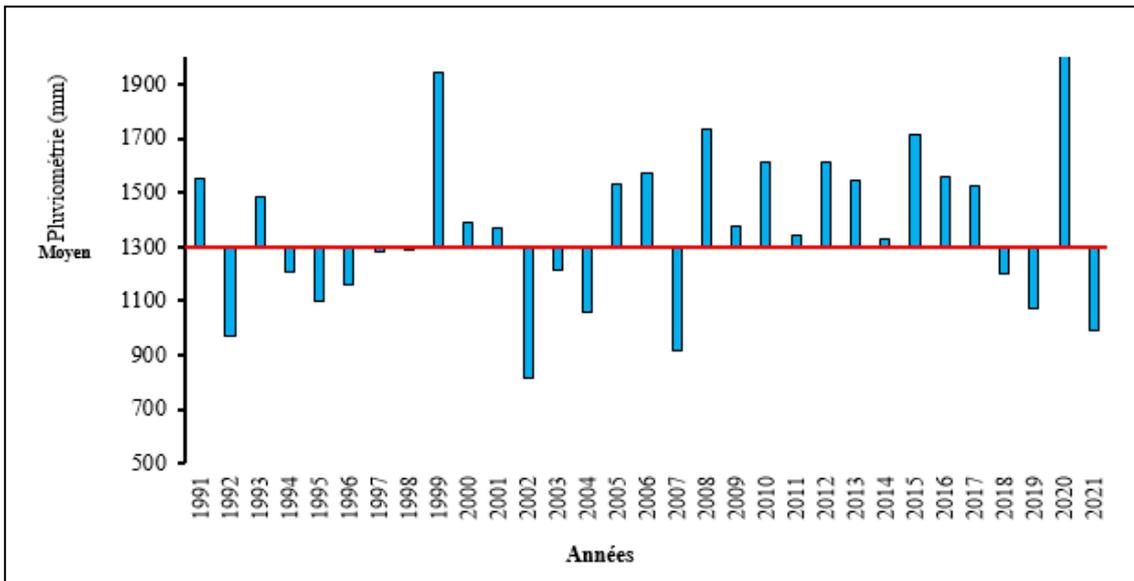


Figure 7 : Variations annuelles de la pluviométrie à la station aéroportuaire de Ziguinchor de 1991 à 2021 (Source de données : ANACIM Ziguinchor)

1.5.3. Relief, hydrographie, et sol

Le relief dans la zone du Bayotte-Est est relativement plat avec des points culminants ne dépassant pas les 41 m d'altitude. Les altitudes les plus hautes sont rencontrées au centre et au sud dans la zone d'étude où sont localisés les villages de Bouhouyou et Boffa Bayotte. Les altitudes les plus basses sont rencontrées au Nord et très voisines des villages de Katouré et Toubacouta (figure 8). Plusieurs types de sols sont rencontrés dans la zone du Bayotte-Est : les sols hydromorphes sur matériau colluvial, essentiellement retrouvés dans les vallées ; les sols halomorphes salins acidifiés et les sols hydromorphes organiques localisés dans la zone environnante de l'exutoire des vallées ; les sols ferrugineux tropicaux lessivés et les sols faiblement ferralitiques rencontrés principalement sur le plateau (figure 9).

1.5.4. Végétation

La végétation est constituée en particulier de forêts claires, de savanes arborées et arbustives. Un tapis de graminées et une strate arborescente quasi continue haute de 10 à 20 m couvrent plus ou moins partiellement le sol dans les forêts claires (Guèye, 2000; RdS, 2010). Dans les savanes tapissées par des graminées, la hauteur des arbres est comprise en moyenne entre 12 et 20 m et comprend majoritairement les espèces suivantes *Khaya senegalensis*, *Parkia biglobosa*, *Tamarindus indica*, *Butyrospermum paradoxum* et diverses combrétacées (Guèye, 2000; RdS, 2014).

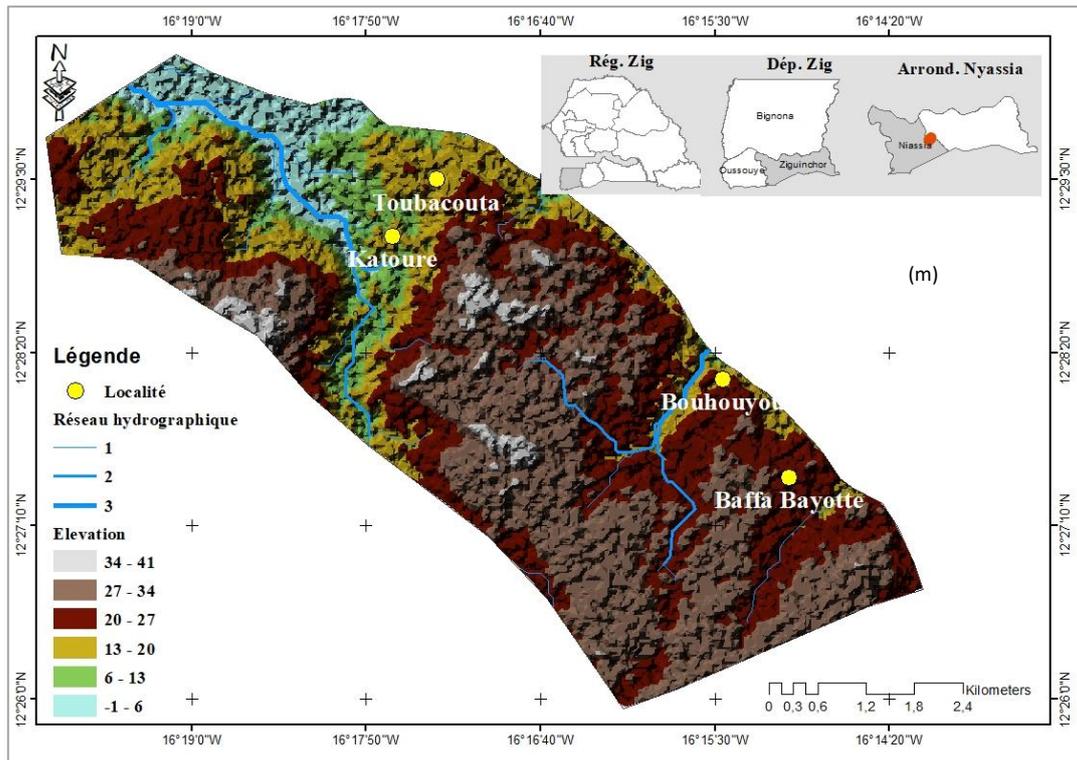


Figure 8 : Carte du réseau hydrographique et de la topographie de la zone du Bayotte-Est

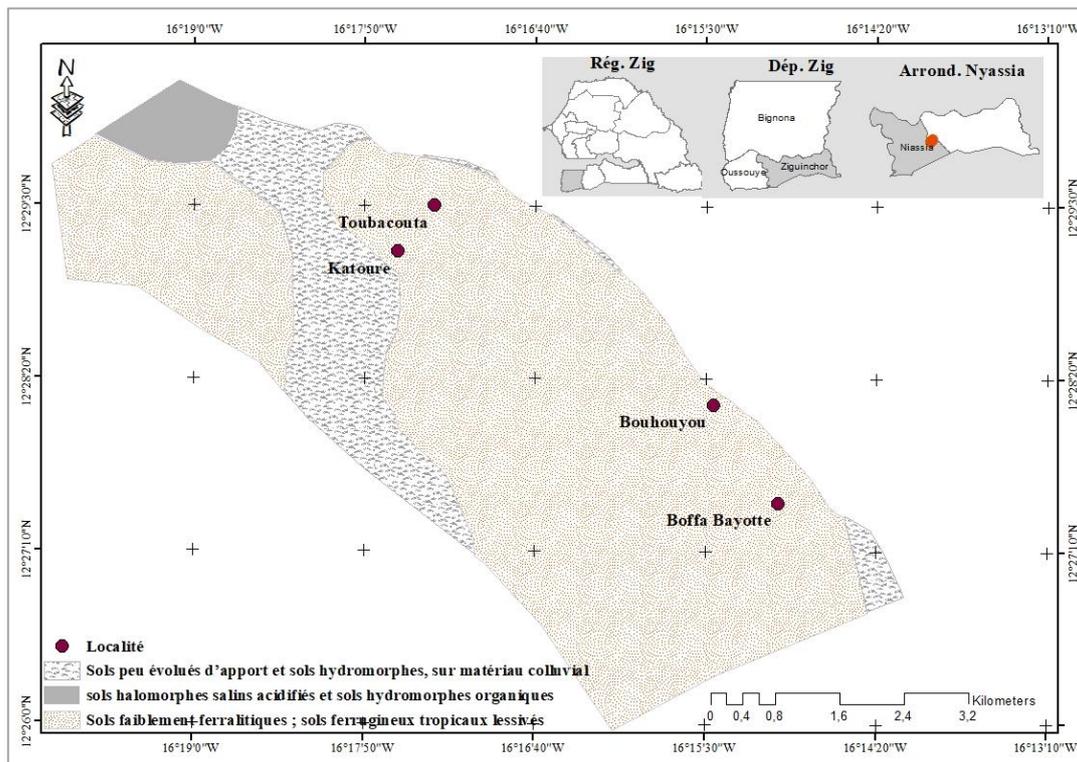


Figure 9 : Carte des sols de la zone du Bayotte-Est (Stancioff, et al., 1985)

1.5.5. Caractéristiques socio-économiques

La commune de Nyassia compte 25 villages administratifs avec une population évaluée à 4 917 habitants constituant 41, 15 et 21 ménages respectivement à Toubacouta, Bouhouyou et Boffa Bayotte (ANSD, 2013). Comme activités économiques, la population pratique principalement l'agriculture, l'élevage, la pêche et la récolte de vin de palme (Thornell, 2020). La riziculture demeure l'activité agricole dominante comparée aux autres activités comme la culture de mil, le maraîchage, la culture d'arachide et l'arboriculture fruitière (USAID, 2010). Cependant, depuis plusieurs années, les rendements ne cessent de décroître à cause principalement de la salinisation des rizières, de la baisse de la fertilité des sols, d'ensablement progressif des terres exacerbés par l'élimination des arbres.

CHAPITRE 2 : Caractérisation de la végétation ligneuse dans les parcs à *Parkia biglobosa* (JACQ) R.BR. EX G. DON dans la vallée de Katouré, commune de Nyassia (Basse Casamance, Sénégal)

Résumé

En Basse Casamance, dans les parcelles agricoles des plateaux ou des bas-fonds où la riziculture est essentiellement pratiquée, la présence de ligneux comme *Parkia biglobosa* entre autres est éparse et mal documentée malgré leur importance ethnobotanique et leur capacité à améliorer la fertilité des sols à travers leur litière et leur importance ethnobotanique. Cette étude a été menée dans le but de caractériser la végétation ligneuse des parcs à *Parkia biglobosa* dans une zone rizicole de la commune de Nyassia. Des relevés floristiques ont été effectués par la méthode d'échantillonnage systématique avec des pas réguliers de 50 m dans 2 parcs à *Parkia* localisés au niveau du plateau et dans les bas-fonds. La hauteur, le diamètre du tronc à hauteur de 1,30 m et la longueur du houppier des arbres ont été mesurés. Ainsi, 17 relevés ont été effectués respectivement dans les parcs du plateau et 39 relevés dans les parcs de bas-fonds. L'indice de diversité de Shannon a été de 1,88 dans les parcs du plateau et 1,69 dans les bas-fonds. Les indices de la valeur d'importance (IVI) les plus élevés ont été obtenus pour les espèces *Parkia biglobosa* et *Elaeis guineensis* avec, en plateau, respectivement 29,7% et 34,2% et dans les bas-fonds : 24,7% et 38,9%. *Parkia biglobosa* et *Elaeis guineensis* ont été également les plus fréquentes et les plus abondantes, avec respectivement pour la fréquence 23% et 17% en plateau ; 29% et 21% en bas-fond ; pour l'abondance, respectivement 32% et 36% en plateau ; 25% et 47% en bas-fond. Il ressort de cette étude que malgré la forte pression démographique, ces espèces pourraient être délibérément conservées par les producteurs dans ces parcs d'exploitation rizicole d'où leur dominance. Il apparaît dès lors pertinent d'étudier l'importance de ces espèces dans le système rizicole.

Mots clés : *Parkia biglobosa*, parc agroforestier, vallée rizicole

Abstract

In the Lower Casamance region, where rice is the main crop, woody plants are sparsely distributed on plateau and lowland agricultural plots, despite their ethnobotanical, socio-economic, food and agronomic importance. For an integrated and beneficial management of this agroforestry system, the presence of these woody plants in the agricultural system should be well documented, in particular *Parkia biglobosa*, a leguminous plant which, thanks to a nitrogen-fixing symbiosis with bacteria of the rhizobium genus, contributes to improving soil fertility. The aim of this study was to characterize the woody vegetation of *Parkia biglobosa* parks in a rice-growing area in the commune of Nyassia. To this end, floristic surveys were carried out using the systematic sampling method, with regular 50m spacing, in two *Parkia* parks located on the plateau and in the lowlands. Tree height, trunk diameter at a height of 1.30 m and crown length were measured. A total of 17 surveys were conducted in the plateau parks and 39 in the lowland parks. A low diversity (Shannon index) was obtained in the plateau parks (1.88) and the lowland park (1.69). Two species, *Parkia biglobosa* and *Elaeis guineensis*, had the highest Importance Value Indices (IVI), both on the plateau (29.7% and 34.2% respectively) and in the lowlands (24.7% and 38% respectively). *Parkia biglobosa* and *Elaeis guineensis* were the most frequent, with frequencies of 23% and 17% in the uplands and 29% and 21% in the lowlands, respectively. Abundance values were 32% and 36% for *Parkia biglobosa* and *Elaeis guineensis* respectively, and 25% and 47% for the lowlands. This study shows that, despite strong demographic pressure, these species may be deliberately conserved by farmers in these rice-growing parks, hence their dominance. It therefore seems appropriate to study the importance of these species in the rice-growing system.

Key words: *Parkia biglobosa*, agroforestry parks, paddy field

2.1. Introduction

En Afrique subsaharienne, particulièrement dans la région naturelle de la Casamance, certains arbres d'intérêts socio-économiques, présents dans les champs agricoles étaient jadis conservés et entretenus de manière éparse par les producteurs (Chevalier, 1924; Dresch, 1949). La conservation de ces arbres dans les champs et les vallées rizicoles a ainsi permis, la formation de paysages de parcs sélectionnés comme les parcs à *Elaeis* qui demeurent les plus représentés et les plus documentés (Pélissier, 1980 ; Camara et al., 2017 ; Ngom et al., 2018 Sagna et al., 2019). Toutefois, l'espèce *Parkia biglobosa* bénéficie d'une protection des producteurs du fait des multiples avantages qu'elle confère, alimentaire, économique, médicinal, culturel et grâce à sa capacité à améliorer la fertilité des sols à travers sa litière riche en nutriments (Diatta et al., 2020 ; Musara et al., 2020). Cependant, avec la relance des activités socio-économiques, favorisée par l'accalmie du conflit casamançais, les ligneux sont surexploités à travers la production du charbon de bois, mais également pour les besoins de construction d'habitations et les pratiques agricoles (Barry et al., 2019; Solly et al., 2020; Ba et al., 2022). Pour une gestion intégrée et bénéfique de ces ligneux dans les zones rizicoles, il conviendrait de faire un diagnostic exhaustif de cette végétation. C'est dans ce cadre que cette étude a été menée dans le but de caractériser la végétation ligneuse dans les parcs à *Parkia biglobosa* en zone rizicole dans la commune de Nyassia.

2.2. Matériel et méthodes

2.2.1. Parcs d'étude

L'étude a été conduite dans deux sites identifiés comme parc à *Parkia biglobosa*, dans les villages de Katouré et de Toubacouta à Bayotte-Est (figure 10). Le site 1 est localisé dans les bas-fonds de la vallée du village de Katouré, à 6-13m d'altitude par rapport au niveau de la mer ; le sol est de type hydromorphe avec du matériau colluvial. C'est un site où la riziculture est encore pratiquée de manière résiduelle en association ou pas avec certains arbres. Le site 2, localisé sur les plaines en cuvette non nivelées du village de Toubacouta, se situe à 13-20 m d'altitude par rapport au niveau de la mer sur du sol ferrugineux tropical lessivé. La riziculture de ruissellement était jadis pratiquée dans ces plaines (Portères, 1952). Cette dernière est complètement à l'arrêt à la suite du déclenchement du conflit casamançais il y a près de 40 ans.

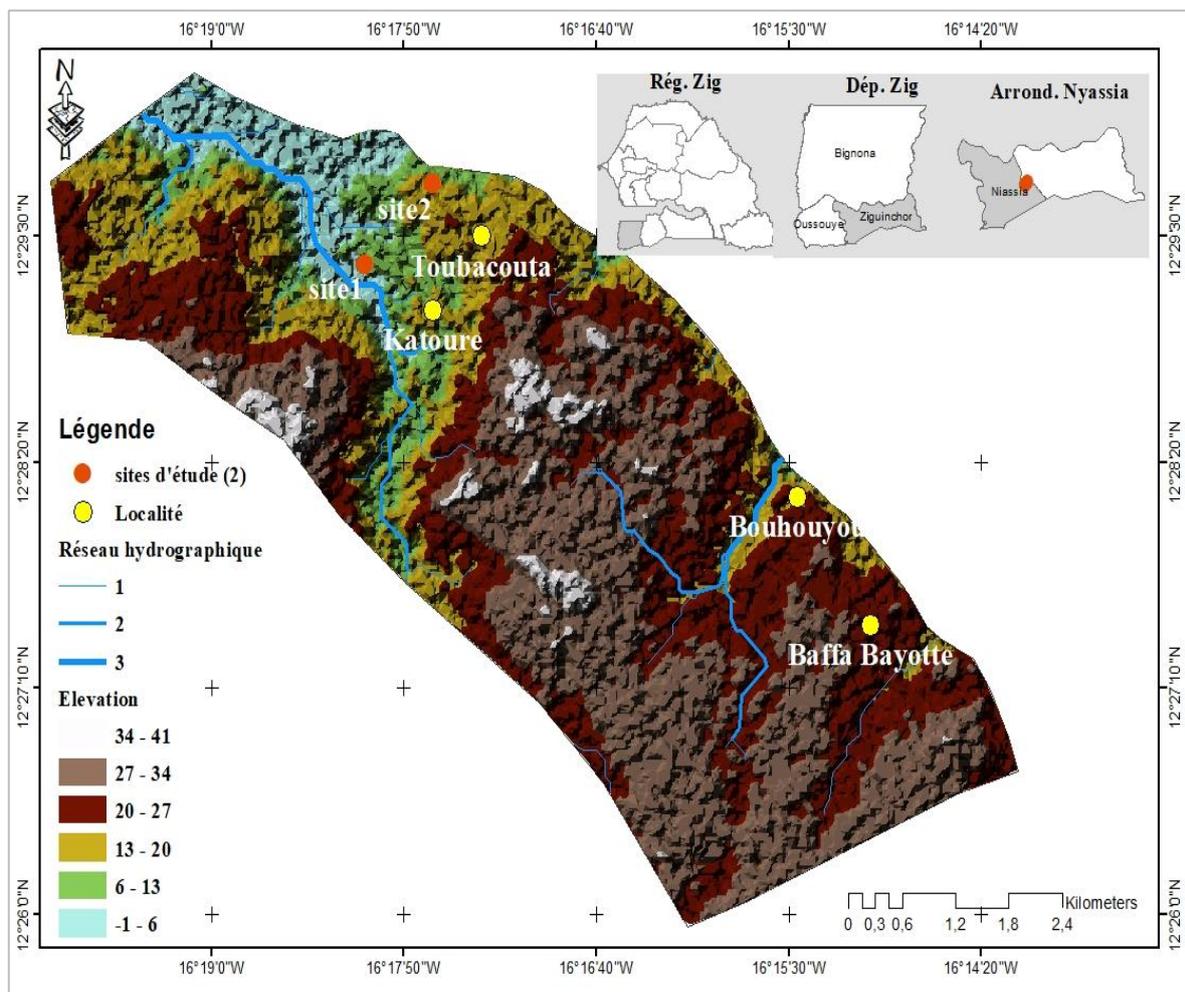


Figure 10 : Carte de localisation des sites d'études dans la zone du Bayotte-Est

2.2.2. Méthodes d'inventaire

Des relevés de points GPS ont été effectués pour délimiter et cartographier les 2 sites situés dans les bas-fonds et sur le plateau (figure 11 et 12). Les relevés floristiques de la végétation ligneuse dans chaque strate (bas-fond et plateau) ont été effectués par la méthode d'échantillonnage systématique avec des pas réguliers de 50 m pour les deux sites (figure 11 et 12). A chaque point de relevé, une placette circulaire de 30 m de diamètre ($706,86 \text{ m}^2$) a été réalisée. Dans chacune de ces placettes, tous les arbres de diamètre supérieur ou égal à 5 cm ont été identifiés et mesurés. Ainsi, 39 relevés ont été réalisés au niveau des bas-fonds et 17 placettes en zone de plateau avec respectivement des taux de sondage de 30,6% et 30%. Les paramètres mesurés ont concerné la hauteur, le diamètre à 1,30 m de hauteur par rapport au pied et la longueur du houppier (minimum et maximum).

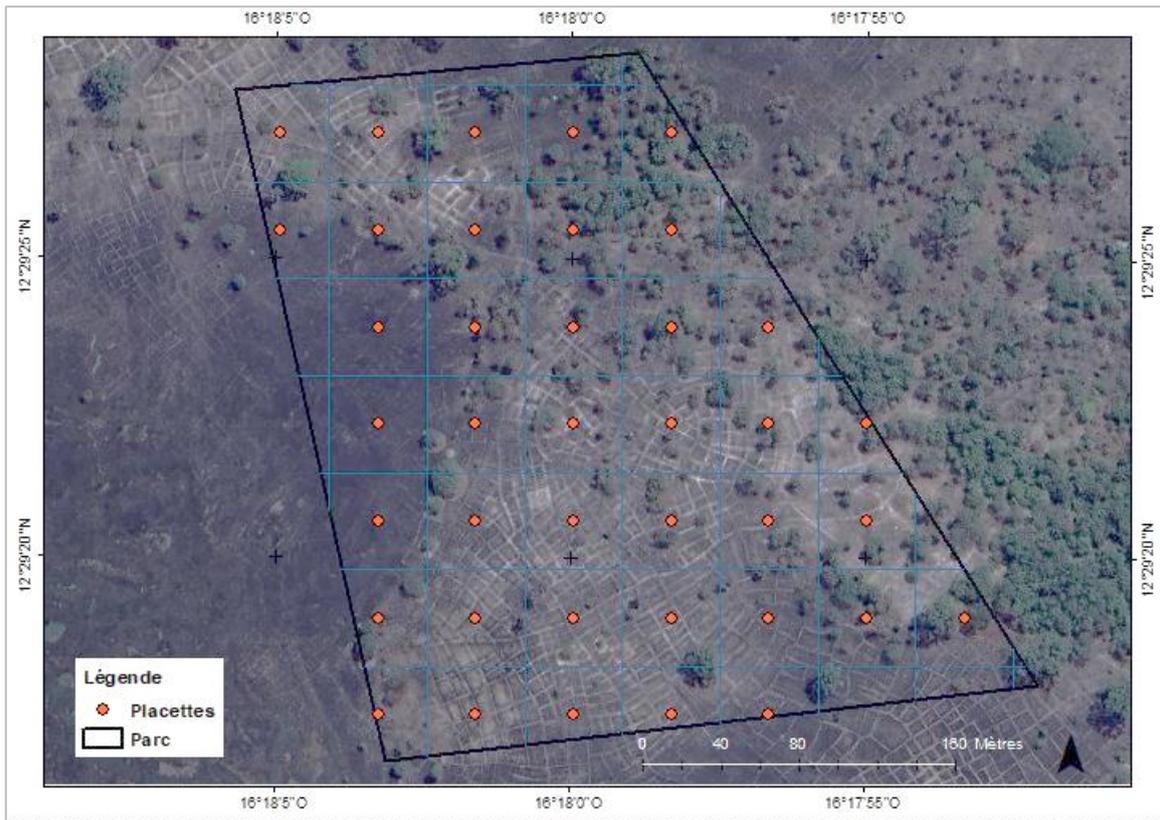


Figure 11 : Echantillonnage systématique dans le site de bas-fond

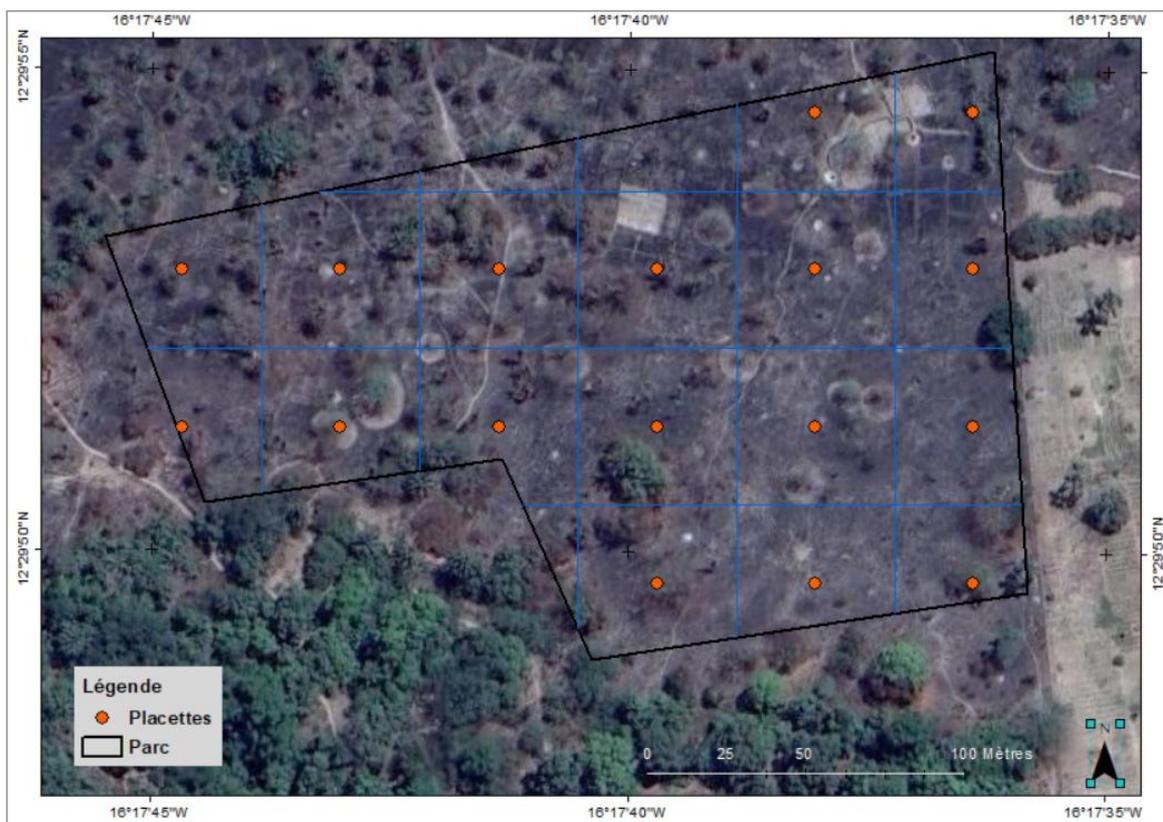


Figure 12 : Echantillonnage systématique dans le site de plateau

2.2.3. Traitement et analyse des données

La richesse spécifique (S) ou diversité alpha a été déterminée et a servi à mesurer la diversité spécifique des deux sites d'études. Elle désigne le nombre d'espèces, de genres et de familles présentes dans le milieu (Marcon, 2015).

L'indice de la valeur d'importance (IVI : Importance Value Index) qui sert à quantifier l'importance de chaque espèce dans le peuplement étudié, a été obtenu à partir de données sur la dominance relative, la densité relative et la fréquence relative (Rakotomalaza & McKnight, 2006).

La formule ci-après a été utilisée pour le calcul de l'IVI :

$$IVI = \text{dominance relative} + \text{densité relative} + \text{fréquence relative}$$

Où :

- **Dominance relative** = (surface terrière totale par espèce/surface terrière totale de toutes les espèces) × 100
 - Surface terrière = $D^2 \times \pi/4$ (diamètre à 1,30 m)
- **Densité relative** = (nombre d'individus par espèce/nombre total d'individus toutes espèces confondues) × 100
- **Fréquence relative** = (fréquence de l'espèce/somme de toutes les fréquences des autres espèces) × 100.

L'indice de diversité de Shannon-Weaver (H) a été adopté et utilisé pour apprécier la diversité dans les deux sites d'étude à travers la formule (Djogo et al., 2012; Djedi, 2021) :

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \log P_i$$

Avec $P_i = \frac{n_i}{N}$: abondance relative de l'espèce i dans l'échantillon total auquel appartient l'espèce.

Il permet d'évaluer la diversité des espèces végétales. La diversité est faible lorsque $H < 3$ bits, moyenne si H est compris entre 3 et 4 bits, puis élevée quand $H \geq 4$ bits. Le milieu est peu diversifié quand H est faible et relativement diversifié en espèces quand H est fort.

Le pourcentage recouvrement de chaque espèce qui désigne la proportion de la superficie de sol qui est recouverte par les couronnes de leurs individus a été obtenu à partir de l'équation :

$$\% R = \frac{\sum \pi \left(\frac{dmh}{2} \right)^2}{S} \times 100$$

dmh : diamètre moyen du houppier, S : Surface de l'échantillon considéré (ha).

Les données sur les paramètres hauteur et diamètre des individus ont été représentées par des box plots.

Les analyses statistiques, notamment celles de variance ANOVA au seuil de 5% ont été effectuées avec le logiciel R 4.2.2. Par la suite, le test de Student-Newman-Keuls (SNK) a été adopté pour la comparaison des différentes moyennes.

2.3. Résultats

2.3.1. Richesse spécifique

L'inventaire de la flore ligneuse menée dans les sites d'étude, a permis de recenser 24 espèces, 23 genres et 13 familles. En zone de bas-fond, 17 espèces ont été répertoriées regroupées en 17 genres et 10 familles. Dans la zone de plateau, 19 espèces regroupées en 18 genres et 11 familles ont été identifiées (Tableau 1).

L'évolution de la courbe d'accumulation des espèces répertoriées par relevé dans le plateau et le bas-fond a continué d'évoluer, ce qui révèle qu'un certain nombre d'espèces est encore attendu (figure 13).

Tableau 1 : Effectifs des espèces, des genres et des familles dans les sites d'étude

Site	Espèce	Genre	Famille
Plateau	19	18	11
Bas-fond	17	17	10
Total général	24	23	13

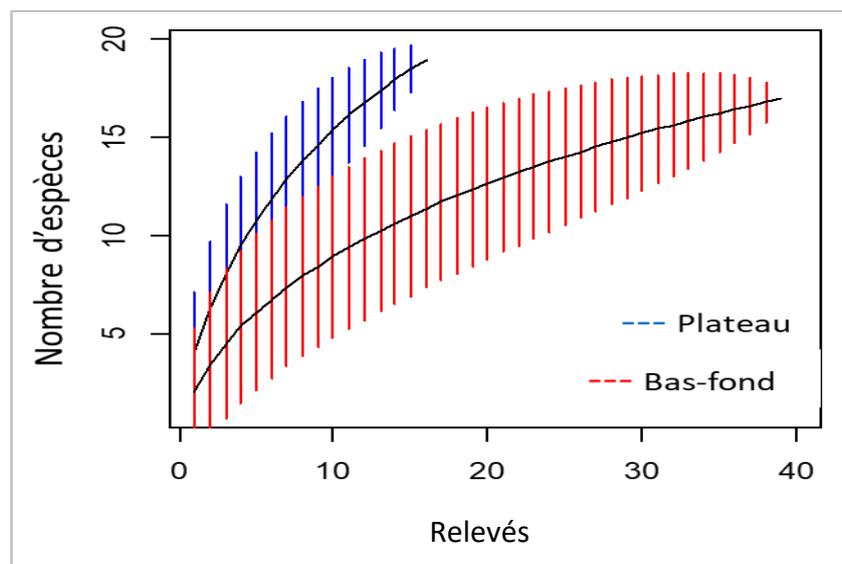


Figure 13 : Courbes d'accumulation des espèces identifiées dans les relevés pour chaque site

Il y'a eu une variation significative du nombre d'espèces (Pr =0,006), de genres (Pr =0,006) et de familles (Pr =0,0136) entre les deux sites (tableau 2). Ainsi, les espèces, genres et familles ont été plus importants au niveau du plateau qu'en zone de bas-fond.

Tableau 2 : Variation des taxons dans la zone de plateau et de bas-fond

	Espèce	Genre	Famille
Plateau	4,0a*	4,0a	3,6a
Bas-fond	2,7b	2,7b	2,5b
Pr	0,00639	0,00639	0,0136

*Les valeurs sur une même colonne présentant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes (Student-Newman-Keuls (SNK), seuil 5%).

2.3.2. Importance relative des espèces ligneuses

Dans le plateau, 19 espèces ligneuses ont été inventoriées contre 17 en bas-fond. *Elaeis guineensis* et *Parkia biglobosa* ont présenté les indices de valeur d'importance (IVI) les plus élevés avec respectivement 34,17% et 29,62% pour le plateau contre respectivement 38,93% et 24,71% pour le bas-fond (tableaux 3 et 4). *Elaeis guineensis* et *Parkia biglobosa* ont été les espèces les plus importantes du peuplement, suivies par les espèces *Neocarya macrophylla* (IVI = 11,09%) dans le site en bas-fond et *Pterocarpus erinaceus* (IVI = 6,87%) dans le site en plateau (tableaux 3 et 4).

Les fréquences relatives (Fr) les plus élevées ont été enregistrées avec *Parkia biglobosa* et *Elaeis guineensis*, avec respectivement : 23,44% et 17,19% en plateau et ; 29,05% et 21,47% dans le bas-fond (tableaux 3 et 4).

Parkia biglobosa et *Elaeis guineensis* ont présenté également les valeurs les plus élevées concernant la densité relative (Dr), la dominance relative (Domr) (tableaux 3 et 4).

Tableau 3 : Valeur d'importance des espèces dans le site de Plateau

Espèces	Fr	Dr	Domr	IVI
<i>Adansonia digitata</i> L.	1,56	0,70	1,43	1,23
<i>Alchornea cordifolia</i> (Schumach. & Thonn.) Müll. Arg.	1,56	0,70	0,69	0,99
<i>Anacardium occidentale</i> L.	1,56	0,70	1,73	1,33
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	3,13	1,41	0,72	1,75
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	3,13	1,41	2,05	2,19
<i>Daniellia oliveri</i> Hutch. & Dalz.	3,13	1,41	0,39	1,64

Espèces	Fr	Dr	Domr	IVI
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	17,19	35,92	49,41	34,17
<i>Fiedherbia albida</i> (Del.) Chev.	1,56	0,70	0,36	0,87
<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	1,56	0,70	0,30	0,86
<i>Lannea acida</i> A. Rich.	1,56	0,70	0,13	0,80
<i>Morinda pubescens</i> J. E. Smith	4,69	2,11	0,71	2,50
<i>Neocarya macrophylla</i> (Sabine) Prance.	9,38	5,63	1,43	5,48
<i>Newbouldia laevis</i> (P. Beauv.) Seem.	1,56	0,70	0,08	0,78
<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex G. Don.	23,44	32,39	33,02	29,62
<i>Piliostigma thonningii</i> (Schumach.) Milne-Redh.	6,25	3,52	1,80	3,86
<i>Prosopis africana</i> (Guill. & Perr.) Taub.	4,69	2,11	1,01	2,60
<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	9,38	7,04	4,21	6,87
<i>Terminalia albida</i> Sc. Elliot.	1,56	0,70	0,33	0,86
<i>Terminalia macroptera</i> Guill. & Perr.	3,13	1,41	0,24	1,59

Tableau 4 : Valeur d'importance des espèces dans le site de Bas-fond

Espèces	Fr	Dr	Domr	IVI
<i>Acacia tomentosa</i> Willd.	3,79	2,07	3,42	3,09
<i>Anacardium occidentale</i> L.	1,26	0,52	0,62	0,8
<i>Aphania senegalensis</i> (Juss. ex Poir.) Radlk.	1,26	1,55	0,96	1,26
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	5,05	3,11	3,5	3,89
<i>Borassus akeassii</i> Bayton, Ouédraogo & Guinko.	2,53	1,04	2,08	1,88
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	1,26	0,52	0,3	0,69
<i>Combretum micranthum</i> G. Don.	1,26	0,52	0,23	0,67
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	21,47	47,15	48,15	38,93
<i>Guiera senegalensis</i> J.F. Gmel.	1,26	0,52	0,05	0,61
<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	5,05	2,07	3,86	3,66
<i>Lannea acida</i> A. Rich.	1,26	0,52	0,23	0,67
<i>Neocarya macrophylla</i> (Sabine) Prance.	12,63	8,81	11,83	11,09
<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex G. Don.	29,05	24,87	20,21	24,71
<i>Piliostigma thonningii</i> (Schumach.) Milne-Redh.	2,53	1,04	0,75	1,44
<i>Prosopis africana</i> (Guill. & Perr.) Taub.	2,53	1,04	0,18	1,25
<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	6,32	3,63	3,14	4,36
<i>Terminalia albida</i> Sc. Elliot.	1,26	1,04	0,59	0,96

2.3.3. Diversité

Les parcs étudiés sont peu diversifiés avec des indices de Shannon de 1,88 bits et 1,69 bits respectivement au sein du plateau et des bas-fonds (tableau 5).

Cependant, il y a une différence significative ($Pr = 1,92e^{-08}$) entre le bas-fond et le plateau avec une diversité beaucoup plus élevée dans le plateau comparé au bas-fond.

Tableau 5 : Indice de diversité globale et variation entre relevés pour chaque site

Shannon	
	Global Site
Plateau	1,88
Bas-fond	1,69
	Relevé/Site
Plateau	1,14a*
Bas-fond	0,57b
Pr(>F)	1,92e ⁻⁰⁸

*Les valeurs sur une même colonne présentant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes (Student-Newman-Keuls (SNK), seuil 5%).

2.3.4. Groupement des espèces ligneuses en fonction de leurs valeurs d'importance

En tenant compte des paramètres constitutifs de l'index de la valeur d'importance (IVI) à savoir la fréquence relative, la densité relative et la dominance relative, la classification hiérarchique ascendante (CAH) a fait ressortir 2 groupes distincts aussi bien dans le plateau qu'en bas-fond (figure, 14 et 15). Le 1^{er} groupe est constitué d'espèces caractérisées par des valeurs d'IVI globalement faibles dans les 2 sites. Le second groupe est constitué uniquement de 2 espèces à savoir, *Elaeis guineensis* et *Parkia biglobosa*, distinguées par les valeurs d'IVI les plus élevées de la végétation inventoriée. Ces résultats ont permis de classer les peuplements du plateau et du bas-fond en des parcs mixtes à *Elaeis guineensis* et *Parkia biglobosa*.

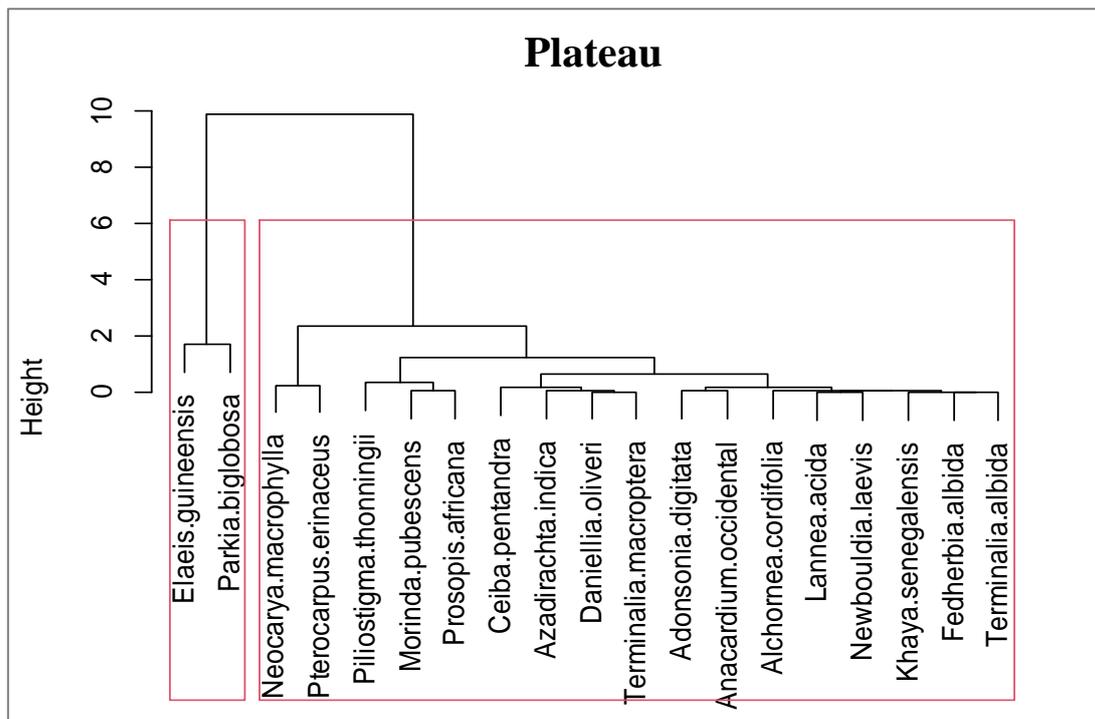


Figure 14 : Groupement des espèces en fonction de leur importance sur le plateau

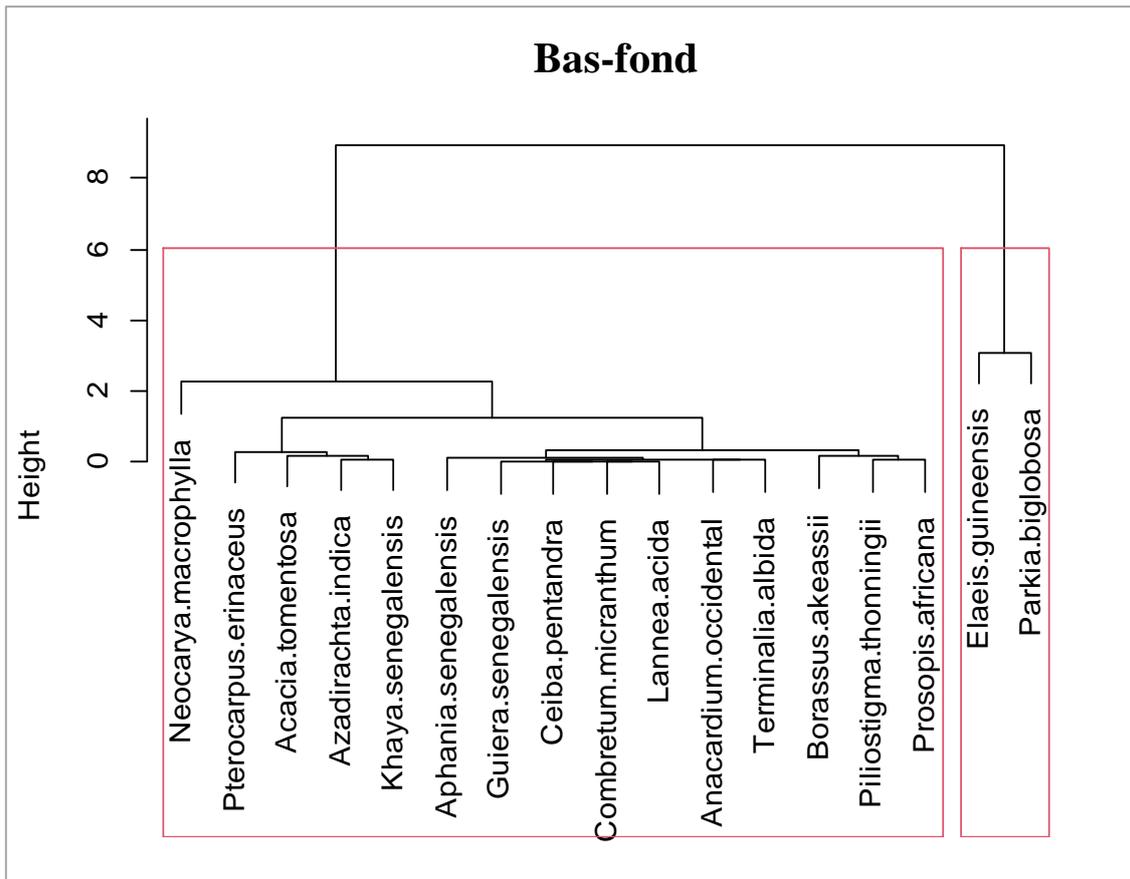


Figure 15 : Groupement des espèces en fonction de leur importance en bas-fond

2.3.5. Hauteur des arbres

Adansonia digitata, *Alchornea cordifolia*, *Daniellia oliveri*, *Feifherbia albida*, *Newbouldia laevis* et *Terminalia macroptera* ont été des espèces spécifiquement rencontrées dans les plateaux. Et les espèces telles que *Acacia tomentosa*, *Aphania senegalensis*, *Borassus akeassii*, *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis* ont été exclusivement rencontrées dans les bas-fonds au cours de cette étude (figure 16). La majorité des espèces communes des deux zones (basfond et plateau) n'ont eu une grande différence de hauteur. Cependant, la hauteur des espèces telles que *Ceiba pentandra* et *Piliostigma thonningii* a été plus importante en zone de plateau par rapport au basfond. Les hauteurs des espèces comme *Azadirachta indica*, *Lannea acida*, *Terminalia albida* et *Pterocarpus erinaceus* ont quant à elles été élevées dans les bas-fonds.

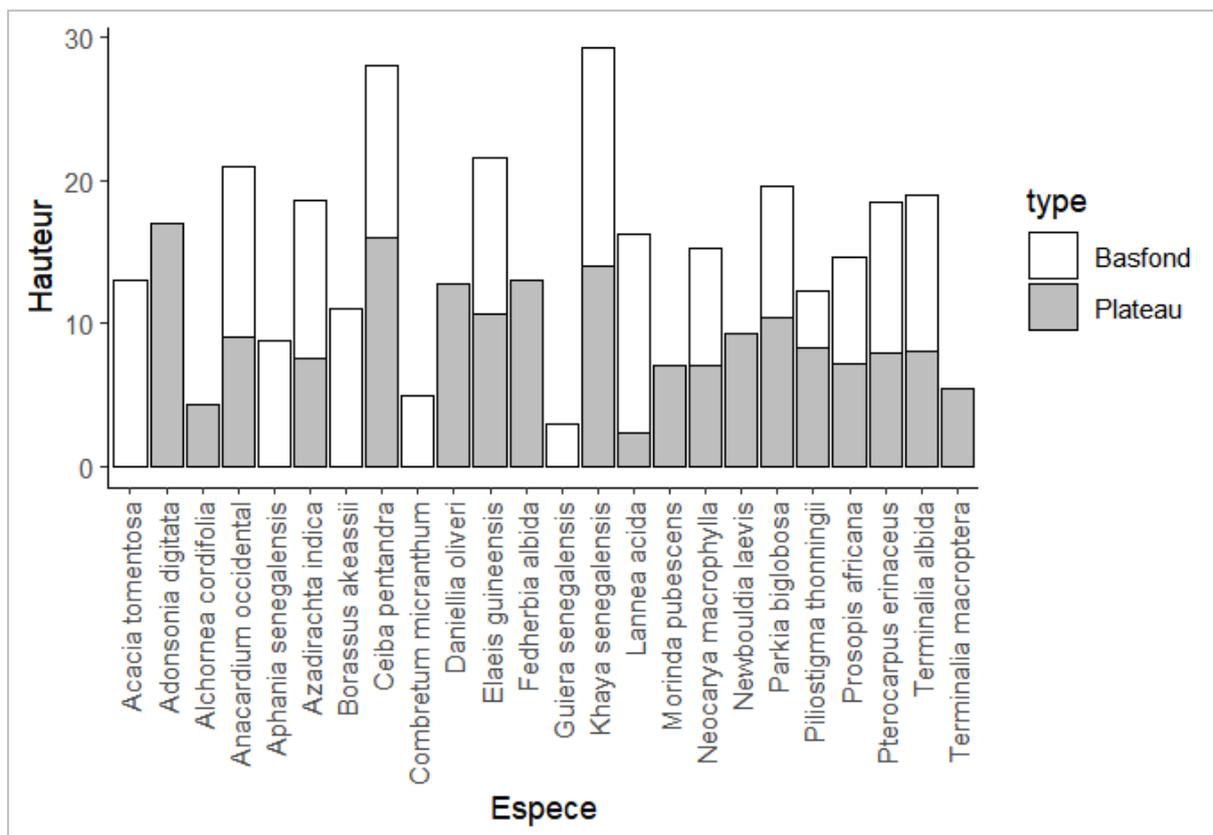


Figure 16 : variation des hauteurs des espèces

2.3.6. Diamètre du tronc à hauteur de 1,30 cm

Parmi, les espèces communes aux deux zones, *Anacardium occidentale*, *Ceiba pentandra*, *Elaeis guineensis*, *Prosopis africana* et *Parkia biglobosa* ont enregistré des diamètres du tronc à hauteur de 1,30 cm, plus importants en zone de plateau (figure 17). Alors que, *Khaya senegalensis*, *Neocarya macrophylla* et *Lannea acida* ont obtenu des diamètres de leurs troncs plus importants dans la zone basfond. Il n'y a pas eu beaucoup de différence en termes de diamètres du tronc à hauteur de 1,30 cm, pour le reste des espèces communes aux deux zones.

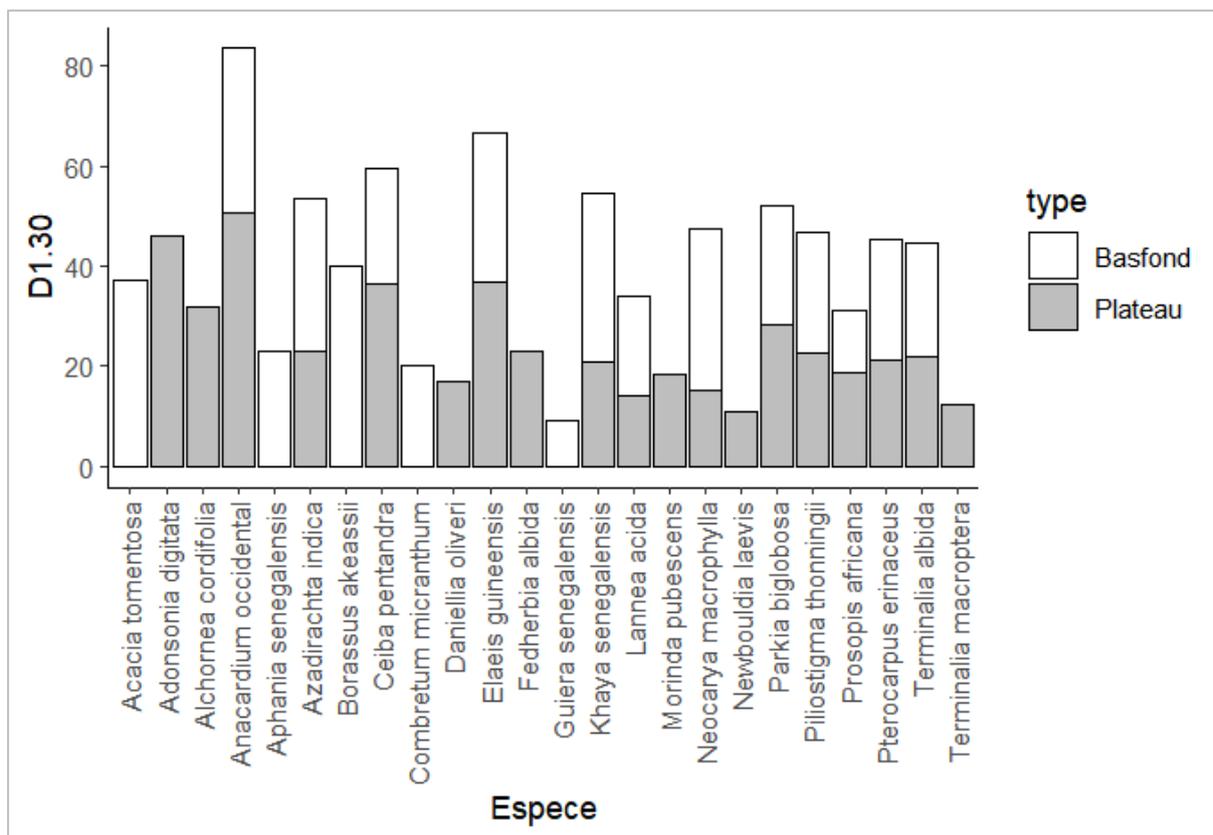


Figure 17 : variation des diamètres des espèces

2.3.7. Recouvrement

Les espèces *Parkia biglobosa* (18% plateau ; 4% bas-fond) et *Elaeis guineensis* (11% plateau ; 5% bas-fond) ont obtenu les taux de recouvrement les plus importants du peuplement avec respectivement 18% et 11% en plateau, 4% et 5% dans les bas-fonds (figure 18). Nous pouvons noter également les espèces comme *Neocarya macrophylla* qui ont présenté un taux de recouvrement de 2% en plateau et 3% dans les bas-fonds ; *Pterocarpus erinaceus* : 2% en plateau et 0,6% dans les bas-fonds ; *Azadirachta indica* : 0,2% en plateau et 1% dans les bas-fonds.

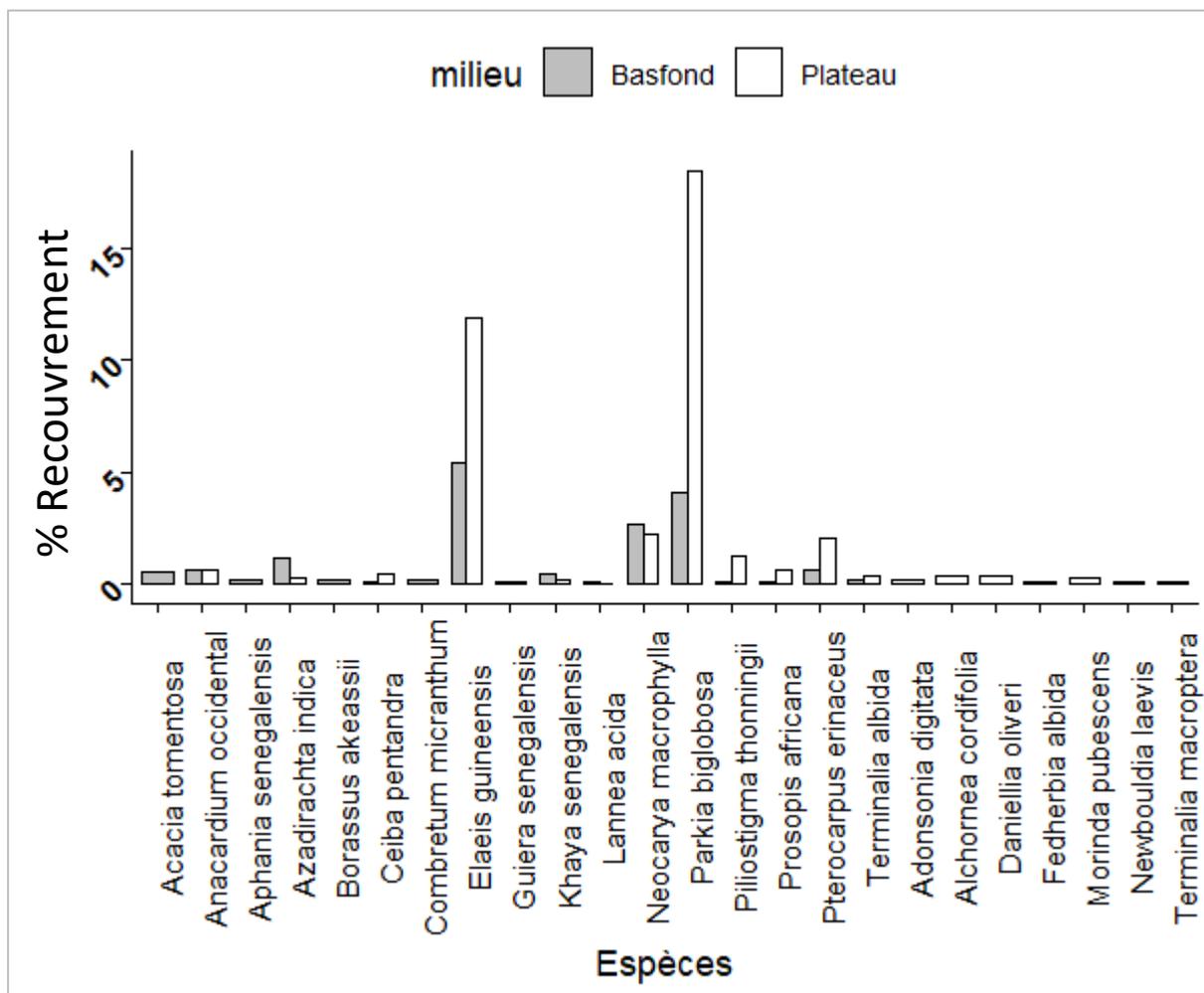


Figure 18 : Répartition des recouvrements des espèces importantes dans les différents sites

2.4. Discussion

Cette étude a permis de caractériser la végétation ligneuse dans 2 parcs à *Parkia biglobosa* situés en zone de plateau et dans les bas-fonds en milieu rizicole. Le nombre d'espèces rencontrées en zone de plateau et dans les bas-fonds est presque similaire (19 espèces vs 17 espèces). Ceci pourrait être lié au fait que le cortège floristique diffère en fonction du caractère morpho-pédologique des milieux, mais aussi des systèmes d'exploitation de ces terres comme l'ont montré plusieurs auteurs (Larwanou et *al.*, 2010; Dourma et *al.*, 2012; Baoubacar et *al.*, 2021).

L'indice de Shannon, globalement inférieur à 3 bits, traduirait une diversité faible des ligneux en plateau (1,88 bits) mais également dans les bas-fonds (1,69 bits) (Djego et *al.*, 2012). Cette faible diversité observée dans les deux sites pourrait être expliquée par les systèmes traditionnels de gestion des ligneux, observés un peu partout en Afrique et en Casamance en particulier. Dans ces systèmes traditionnels, seuls les arbres d'intérêts socio-économiques sont

conservés et entretenus dans les champs des producteurs ; ce qui a tendance à rendre ces paysages singuliers avec la prédominance d'une ou de deux espèces (Chevalier, 1924; Dresch, 1949; Wala et al., 2005).

Dans notre étude, aussi bien en plateau qu'en bas-fond, *Parkia biglobosa* et *Elaeis guineensis* ont été les espèces les plus fréquentes, les plus abondantes et les plus dominantes avec les IVI les plus élevés. Il semblerait que ces deux espèces : *Parkia biglobosa* et *Elaeis guineensis*, soient conservées délibérément dans les parcelles rizicoles par les producteurs.

Le maintien et l'entretien de *Parkia biglobosa* et *Elaeis guineensis* dans les champs de plateau et de bas-fond pourraient être liés aux multiples avantages qu'en tirent les populations locales. De nombreuses études socio-économiques et ethnobotaniques conduites en milieu rural, ont en effet rapporté que *Parkia biglobosa* fournissait d'innombrables services, notamment alimentaires, économiques, médicinales et culturelles aux populations rurales (Koura et al. 2011 ; Zinsoukhan et al. 2015 ; Diatta et al. 2020 ; Musara et al. 2020). De même, *Elaeis guineensis* fournirait de multiples produits tels que l'huile de palme, l'huile de palmiste, le vin, les matériaux de construction, les médicaments, le savon, etc. (Camara et al., 2017; Sagna et al., 2019; Sagna 2020). Ainsi, pendant les aménagements rizicoles, les individus appartenant aux espèces d'intérêts sont maintenus et entretenus à travers la sylviculture (Yaméogo et al., 2005; Yameogo et al., 2013 ; Coly et al., 2020b). La conservation de ces arbres d'intérêts aussi bien dans les bas-fonds de Katouré que dans les plateaux de Toubacouta a permis donc de catégoriser ces paysages agraires comme des parcs mixtes sélectionnés à *Parkia biglobosa* et *Elaeis guineensis* (Pélissier, 1980).

Sur les deux sites étudiés (bas-fond et plateau), *Parkia biglobosa* a enregistré le taux de couverture le plus élevé par rapport à *Elaeis guineensis*. Le même constat a également été fait par d'autres auteurs en Basse Casamance (Coly et al., 2020b). Cette différence serait principalement due à la forme et à la taille de la couronne de *Parkia biglobosa* qui a de grandes branches, étalées et denses, en forme de parapluie (Lamien et al., 2011). La couronne de *Parkia biglobosa* pourrait être un obstacle pour la production des cultures vivrières, notamment le riz (Bayala et al., 2002 ; Ahmed et al., 2011 ; Pouliot et al., 2012).

2.5. Conclusion

L'étude des espèces ligneuses en basse Casamance dans les bas-fonds et en plateau a permis de recenser 19 espèces ligneuses en plateau contre 17 espèces en bas-fond. L'indice de diversité de Shannon a été faible 1,88 bits en plateau, et 1,69 bit dans les bas-fonds avec une dominance de deux espèces *Parkia biglobosa* et *Elaeis guineensis*. *Elaeis guineensis* et *Parkia biglobosa*,

ont eu les IVI les plus élevés avec respectivement 34,17% et 29,62% pour le plateau et respectivement 38,93% et 24,71% pour le bas-fond. Ces deux espèces ont été les plus fréquentes, mais également les plus abondantes et les plus dominantes. Dès lors, il ressort de cette étude, que ces deux espèces, au vu de leur importance économique, ethnobotanique et agroalimentaire, pourraient avoir été intentionnellement conservées par les producteurs dans les champs de plateau comme de bas-fond. Dans les bas-fonds, ces espèces pourraient avoir une grande valeur agronomique sur la culture du riz. Il serait donc intéressant d'étudier l'effet de ces arbres en particulier *Parkia biglobosa* sur la croissance et le développement du riz.

CHAPITRE 3 : Décomposition et effet de la litière de *Parkia biglobosa* (JACQ.) R. BR. EX G. DON sur la croissance et le rendement du riz en basse Casamance

Ce chapitre a fait l'objet d'une publication dans une revue scientifique (*International Journal of Biological and Chemical Sciences (IJBCS)*) et de deux communications orales.

BASSÉNE J., DIÉDHIYOU S., DIATTA Y., GOUDIABY A. O. K., SAGNA Y. P., SOW M., CAMARA B., MBAYE P. N., SOW A., FALL S., NDOYE I. et DIALLO M. D. (2023). Décomposition et effet de la litière de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. Ex G. Don. sur la croissance et le rendement du riz en Basse Casamance, Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 17(3), 879-898. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i3.10>

19ème Congrès de l'Association Africaine pour la Fixation Biologique de l'Azote (AABNF), 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* » tenu du 29 novembre au 2 décembre 2022 à Dakar au Sénégal.

1^{ère} édition des doctorales conjointes ED-EST et ED-ESH sur le thème « *Recherche et innovation dans un contexte de pandémie* » tenue du 10 au 12 novembre 2022 à l'université Assane Seck de Ziguinchor au Sénégal.

Résumé

Afin d'améliorer le potentiel productif des terres rizicoles tout en préservant la biodiversité ligneuse, l'association judicieuse des cultures et des arbres est une alternative de choix. Cela devra toutefois passer auparavant par la détermination de l'impact des substrats des arbres d'intérêt (litière, terreau) sur la culture du riz. L'objectif de cette étude a été d'étudier la décomposition de la litière de feuilles (F) (tigelles et folioles) et de gousses (G) de *Parkia biglobosa* et de déterminer l'effet de l'amendement de cette litière sur la croissance et le rendement du riz afin d'améliorer le potentiel productif des terres rizicoles tout en préservant la diversité floristique ligneuse. Un dispositif en blocs complètement randomisés avec 9 traitements répétés 3 fois, constitués de 8 doses de litière : feuilles [F1 (500 g.m⁻²), F2 (1000 g.m⁻²), F3 (1500 g.m⁻²), F4 (2000 g.m⁻²)], de gousses [G1 (300 g.m⁻²), G2 (600 g.m⁻²), G3 (900 g.m⁻²), G4 (1200 g.m⁻²)] et d'un témoin [T (0 g.m⁻²)] a été mis en place. Il ressort des résultats que les gousses ont eu une décomposition beaucoup plus rapide suivies des tigelles et des folioles. Les taux de germination de riz les plus élevés ont été observés avec les petites doses de litière [G1 (80%) et F2 (72%)]. Sur le plan morphologique, (hauteur des plants de riz, nombre de talles et de feuilles), les doses les plus élevées de feuilles F3 et F4 et de gousses G3, G4 ont été globalement les plus performantes. Les rendements en grain les plus élevés ont été observés avec les traitements G4 (2,94 t.ha⁻¹), G3 (1,44 t.ha⁻¹), F4 (1,42 t.ha⁻¹) et F3 (1,40 t.ha⁻¹),

comparés au témoin ($Pr = 0,000294$). L'influence positive de la litière de *Parkia biglobosa* ainsi observée, laisse présager une association bénéfique pour la culture du riz.

Mots clés : *Parkia biglobosa*, litière, décomposition, riz, rendement

Abstract

In order to improve the productive potential of rice-growing land while preserving woody biodiversity, the judicious association of crops and trees is an alternative of choice. However, this will first have to go through the determination of the impact of the substrates of the trees of interest (litter, compost) on rice cultivation. The aim of this study was to investigate the decomposition of leaf litter (F) (stems and leaflets) and pod litter (G) of *Parkia biglobosa* and to determine the effect of amending this litter on rice growth and yield in order to improve the productive potential of rice-growing land while preserving woody biodiversity. A completely randomized block design with nine treatments repeated 3 times, consisting of 8 doses of litter: leaves (F1 [500 g.m⁻²], F2 [1000 g. m⁻²], F3 [1500 g.m⁻²], F4 [2000 g.m⁻²]), pods (G1 [300 g.m⁻²], G2 [600 g.m⁻²], G3 [900 g.m⁻²], G4 [1200 g.m⁻²]) and a control (T [0 g.m⁻²]). The results showed that pods decomposed much more rapidly, followed by stems and leaflets. The highest rice germination rates were observed with the small doses of litter [G1 (80%) and F2 (72%)]. In morphological terms (height of rice plants, number of tillers and leaves), the higher doses of F3 and F4 leaves and G3 and G4 pods performed best overall. The highest grain yields were obtained with treatments G4 (2.94 t.ha⁻¹), G3 (1.44 t.ha⁻¹), F4 (1.42 t.ha⁻¹) and F3 (1.40 t.ha⁻¹), compared with the control ($Pr = 0.000294$). The positive influence of *Parkia biglobosa* litter thus observed suggests a beneficial association for rice cultivation.

Key words: *Parkia biglobosa*, litter, decomposition, rice, yield

3.1. Introduction

Le riz constitue l'un des aliments de base de la population sénégalaise avec une consommation moyenne évaluée à près de 90 kg/habitant/an (Fall, 2016). Sa production estimée en moyenne à 1,3 million de tonnes en 2020 (FAOSTAT, 2022) est assurée, principalement par deux systèmes de production : sous périmètre irrigué essentiellement dans la vallée du fleuve Sénégal et sous régime pluvial largement pratiqué dans le Sud du pays, en Casamance (ANSD, 2013). Concernant le système pluvial, les terres rizicoles sont quasi inexploitées dans la région de la Casamance, conséquence d'une baisse de la fertilité des sols (Gueye, 2004 ; Manzelli et al., 2015). Cette faible fertilité est la conséquence de plusieurs facteurs : érosion hydrique,

enherbement excessif des parcelles, perte de fertilité des sols, problèmes phytosanitaires, élimination complète de la composante arborée (Gueye, 2004). Pour pallier ces contraintes et rehausser le niveau de production rizicole nationale tout en préservant la biodiversité des ligneuses les plus importantes, l'association judicieuse des cultures et des arbres pourrait être une meilleure alternative. En effet, il a été montré que l'association du riz et de certains ligneux constituait un système de riziculture durable avec de nombreux bénéfices agronomiques, économiques et environnementaux (Pande, 1997 ; Julier et *al.*, 2014). Parmi les espèces ligneuses qui fournissent autant de services en Basse Casamance, *Parkia biglobosa* confère de nombreux services et bénéfices socio-éco-environnementaux aux populations locales (Beaulaton et Gutierrez, 2002 ; Goudiaby, 2013 ; Diatta et *al.*, 2020). *Parkia biglobosa* est une légumineuse caducifoliée et jouerait un rôle important dans les systèmes d'association de cultures pour la gestion durable de la fertilité des sols (Goudiaby, 2013). Cet aspect est d'une importance fondamentale compte tenu du besoin d'intensification de la production du riz au Sénégal tout en respectant une utilisation rationnelle des ressources naturelles et en renforçant la résilience face aux changements climatiques (Sanou et *al.*, 2010 ; Alo et Aweto, 2018). Ainsi, dans l'optique de mieux valoriser l'association entre *P. biglobosa* et les cultures vivrières, en particulier le riz, il serait essentiel d'étudier la décomposition de la litière et de déterminer l'effet de cette dernière sur le sol et sur le riz. C'est dans ce contexte que cette étude a été entreprise avec comme objectifs, d'étudier la vitesse de décomposition de la litière de *P. biglobosa* et de déterminer l'effet de son amendement sur la croissance et le rendement du riz.

3.2. Matériel et méthodes

3.2.1. Site d'étude

L'étude a été réalisée dans la ferme d'expérimentation agroforestière du Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie de l'Université Assane Seck de Ziguinchor située en Basse Casamance (figure 19). Le climat du type Sud-soudanien côtier est dominé par deux saisons : une saison sèche qui s'étale d'octobre à mai et une saison pluvieuse qui va de juin à septembre (Sagna, 2005). La pluviométrie moyenne annuelle est estimée à environ 1200 mm et la température moyenne à 27° C (Sagna, 2005).

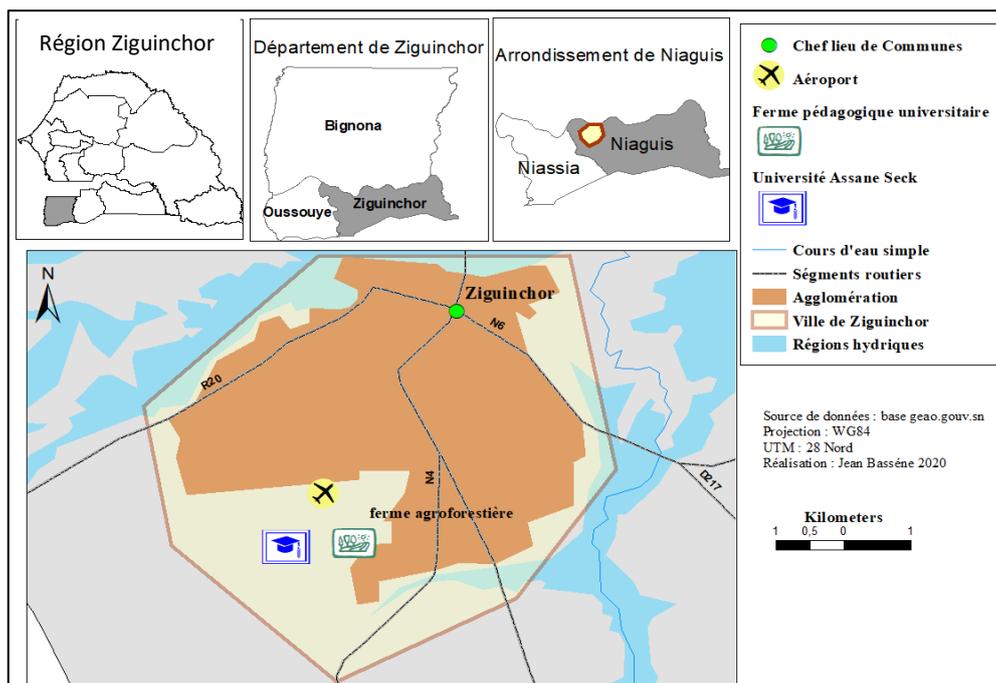


Figure 19 : Carte de localisation du site d'étude

3.2.2. Matériel végétal

La litière

La litière utilisée au cours de cette étude est constituée de feuilles et de gousses de *P. biglobosa*. Les feuilles ont été récoltées sur des pieds de l'espèce et une partie a été séparée en folioles et en tigelles. Les gousses ont été collectées auprès des unités de transformation des fruits dans la région de Ziguinchor. L'ensemble de la litière a été séché séparément à l'étuve à 70°C pendant 48 h. Par la suite, une partie de la litière (gousses, tigelles et folioles) a été utilisée pour l'étude de la cinétique de décomposition. Cette litière a été mise dans des sachets en nylon avec des mailles de 2 mm à raison de 20 g par sachet.

Le reste de la litière (gousses et feuilles) a été utilisée pour l'étude de l'effet de la litière sur la croissance et le rendement du riz. Cette litière a été broyée à l'aide d'un broyeur puis apportée à différentes doses constituant les différents traitements au sol prélevés dans la ferme (Tableau 6). Ce mélange litière-sol a, par la suite, été mis à incuber avec des retournements réguliers et une humidification tous les 5 jours afin d'accélérer les processus d'humification et de minéralisation de la litière. Après deux mois d'incubation, le matériel a été collecté et réparti dans des sachets (gainés) de polyéthylène de capacité 1L.

Tableau 6 : Différents traitements et doses de litière utilisés

Traitement	Type	Masse de litière par volume de sol (g.m ⁻²)	Dose de litière g.gainés ⁻¹
------------	------	---	--

F1	Feuille	500	40
F2	Feuille	1000	80
F3	Feuille	1500	120
F4	Feuille	2000	160
G1	Gousse	300	24
G2	Gousse	600	48
G3	Gousse	900	72
G4	Gousse	1200	96
T (témoin)		0	0

Le Riz

La variété de riz NERICA 8 a été utilisée pour cette étude. Cette variété a une phase végétative d'une durée moyenne de 20 à 35 jours, atteignant la mi-épiaison entre 55 et 60 jours après semis (Somado et al., 2008). Avec un rendement potentiel d'environ 5 000 kg.ha⁻¹, elle demeure une variété largement cultivée en milieu paysan grâce à sa productivité, sa rusticité et sa précocité (Kouakou et al., 2016).

3.2.3. Dispositif expérimental

Cinétique de décomposition de la litière

Les sachets polyesters contenant la litière ont été enfouis à 5 cm de profondeur, selon un dispositif en blocs complètement randomisés, répété 6 fois, avec comme facteur d'étude la durée d'enfouissement en jours (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210) soit de 1 à 7 mois (figure 20) l'étude a été menée durant la période de la saison sèche qui s'étend d'octobre à mai.

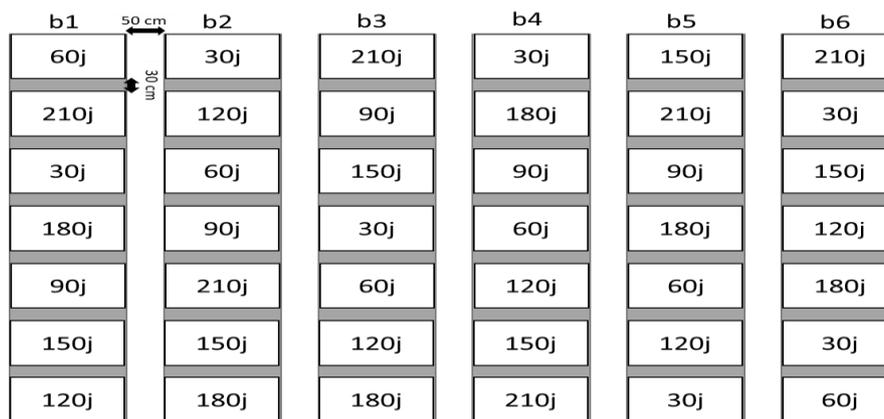


Figure 20 : Dispositif en bloc complètement aléatoire pour le suivi de la décomposition

Effet de la litière sur la croissance et le rendement du riz

Le dispositif expérimental adopté est un bloc randomisé (RCBD) avec comme facteur la dose de litière répétée trois fois (figure 21). Chacun de ces blocs renferme 9 traitements

correspondants aux 4 doses de litière de feuilles et 4 doses de litière de gousses et un témoin sans apport de litière disposés dans 6 gaines par traitement. Un écartement de 0,70 m a été maintenu entre les blocs et de 0,30 m entre les différents traitements au sein de chaque bloc.

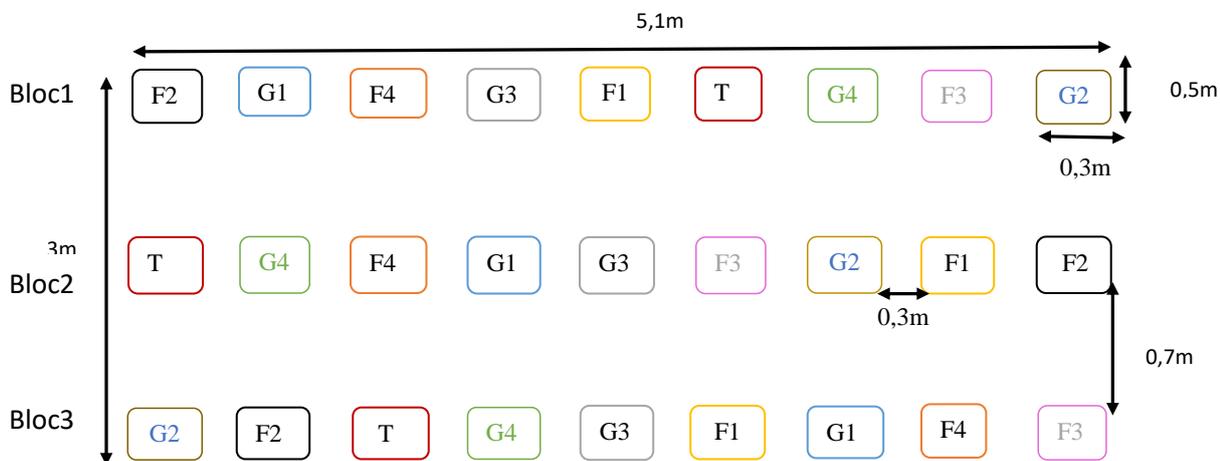


Figure 21 : Dispositif en bloc complètement aléatoire de l'essai sur les doses de litières

3.2.4. Collecte et traitement des données

- **Cinétique de décomposition de la litière**

À la fin de chaque temps d'enfouissement, les six sachets correspondant à chaque type de litière sont déterrés puis séchés à l'étuve à la température de 60°C pendant 48 h. Par la suite, la litière a été pesée à l'aide d'une balance électronique de précision 1/1000.

- **Effet de la litière sur la croissance et le rendement du riz**

Germination

Le nombre de graines germées dans chaque gaine a été dénombré 15 jours après semis et le taux de germination déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Taux} = (\text{Nombre de graines germées} / \text{Nombre de graines semées}) * 100$$

Morphologie (hauteur des plants, nombre de talles et de feuilles)

La hauteur des plantes a été mesurée tous les 15 jours après semis jusqu'au 60^{ème} jour.

Les talles et feuilles ont été dénombrées pour chaque pied de riz tous les 15 jours après semis jusqu'au 60^{ème} jour.

Phénologie et Physiologie

Les différents stades de développement de la plante ont été suivis avec notamment les données relevées lorsque 50% des plants ont atteint l'épiaison et 80% des plantes ont atteint la maturité.

La teneur en chlorophylle des feuilles pour chaque traitement a été mesurée sur 6 feuilles matures à l'aide de l'appareil chlorophylle-meter SPAD-502Plus pendant 5 jours durant la phase végétative.

Rendement

Les paramètres liés au rendement en grain tel que le nombre de panicules par plante, le nombre de grains par panicule (5) et le poids des 1000 grains ont été collectés en vue de déterminer le rendement potentiel suivant la formule ci-après (Ameziane et Persoons, 1994) :

$$\text{Rdt/m}^2 = \text{NP} \times \text{NEP} \times \text{NGE} \times \text{PMG}$$

NP = nombre de plantes par m² ; NEP = nombre d'épis par plante ; NGE - nombre de grains par épi ; PMG = poids moyen d'un grain.

Biomasse

Après la récolte des panicules, les plantes ont été dépotées ; les biomasses aériennes et racinaires ont été collectées et séchées à l'étuve à la température 75°C pendant 48 heures avant d'être pesées à l'aide d'une balance de précision.

3.2.5. Analyses statistiques

Le traitement statistique des données a été effectué par estimation non-linéaire à l'aide du modèle exponentiel simple après linéarisation par le logarithme népérien. Ce modèle exponentiel simple suppose qu'une seule forme potentiellement minéralisable de carbone existe. Cette forme se minéralise à un rythme proportionnel à sa concentration. Ceci peut être linéarisé à l'aide de la fonction ln, facilitant la détermination de la constante k.

L'équation correspondante au modèle selon Kaboneka et *al.*, 2021 est : $L_t = L_0 e^{-kt}$ avec [*L₀*: Quantité de litière initiale (*t=0*) ; *L_t*: Quantité de litière au temps *t* ; *k*: constante de décomposition (*t-1*) ; *t*: temps (jour)].

Le coefficient de décomposition k a été obtenu par la formule ci-dessous et caractérise la vitesse de décomposition : $-kt = \ln\left(\frac{L_t}{L_0}\right)$

Les données de riz collectées et/ou calculées ont ensuite été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel R 4.1.1. Le test de Student-Newman-Keuls (SNK) a été retenu pour la comparaison des moyennes des différents traitements.

3.3. Résultats

3.3.1. Cinétique de la perte de masse de la litière

L'évaluation de la perte de masse de la litière en fonction temps du fait ressortir deux phases de cette décomposition (figure 22). Une première phase s'étale sur les 4 premiers mois et au

cours de laquelle la décomposition a été rapide aboutissant à une perte de masse de près de 60% pour les gousses et 40% pour les tigelles. La deuxième phase est caractérisée par une décomposition relativement lente sur les 3 derniers mois. Pour les folioles, en particulier, il a été constaté un ralentissement de la décomposition après 2 mois d'enfouissement. Cependant, quel que soit le type de litière, la perte de masse a été plus importante pour la litière de gousses comparée à la litière de tigelles ou de folioles ($P < 0,001$).

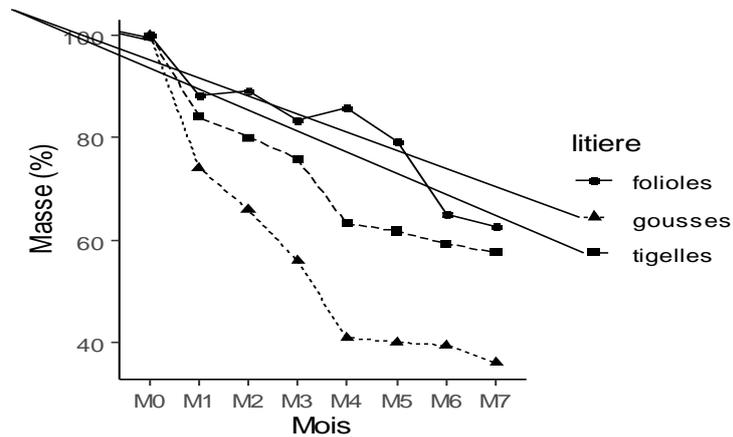


Figure 22 : Evolution de la perte de masse des litières en fonction des temps (mois)

La vitesse de décomposition a été plus élevée pour les gousses comparées aux tigelles et folioles avec un coefficient de décomposition (k) significativement plus important ($Pr < 2 \times 10^{-16}$) (figure 23). Le plus faible coefficient a été noté pour les folioles.

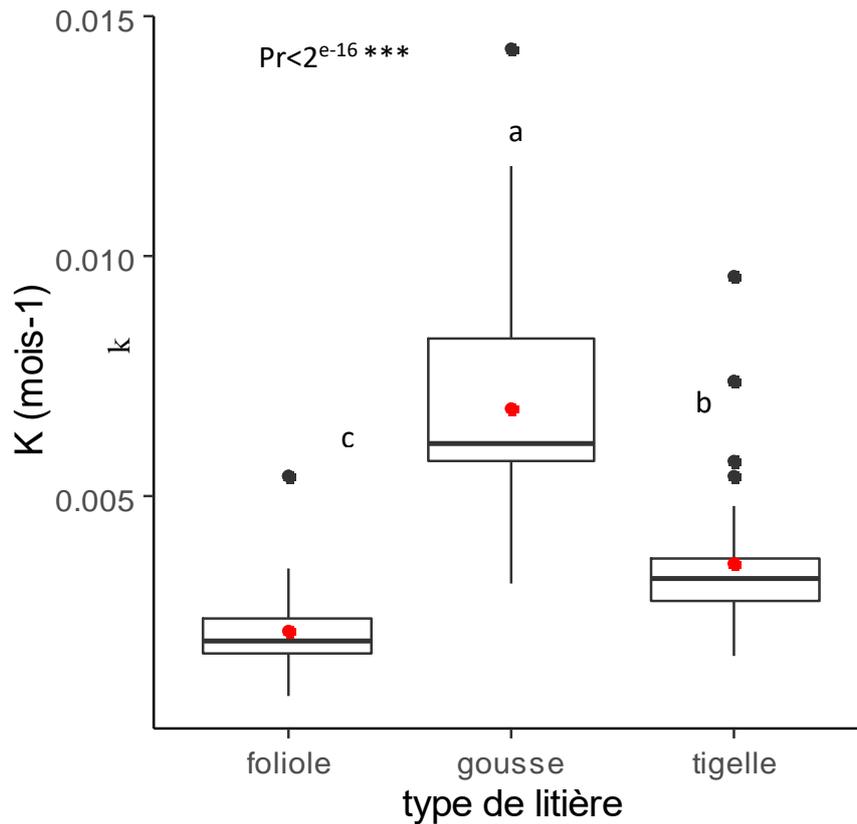


Figure 23 : Variation de la vitesse de décomposition des types de litière

3.3.2. Processus de perte de masse

Le modèle statistique utilisé pour décrire la cinétique de décomposition de la litière a été très hautement significatif pour la litière de gousse ($Pr=0,0009344$; $R^2 = 0,91$), pour la litière de foliole ($Pr=0,0003906$; $R^2 = 0,93$) et pour la litière de tigelle ($Pr=0,005122$; $R^2 = 0,82$).

L'extrapolation de la masse de litière de gousse susceptible d'être perdue pendant environ une année soit 360 jours correspond à environ 17 g soit 85% de la masse initiale. Pour la foliole et la tigelle, cela correspond respectivement à 10 g (50%) et 12,5 g (63%) de la masse initiale (figure 24).

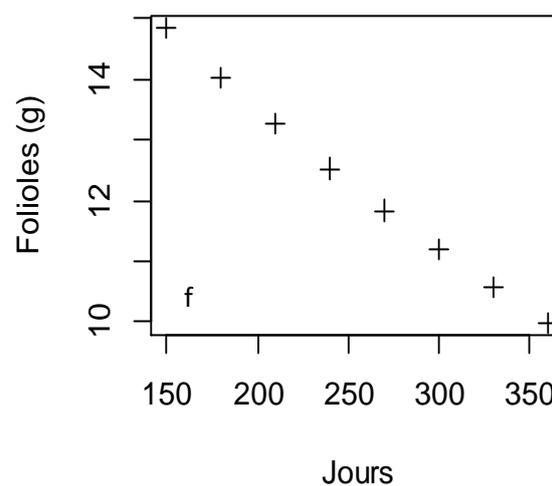
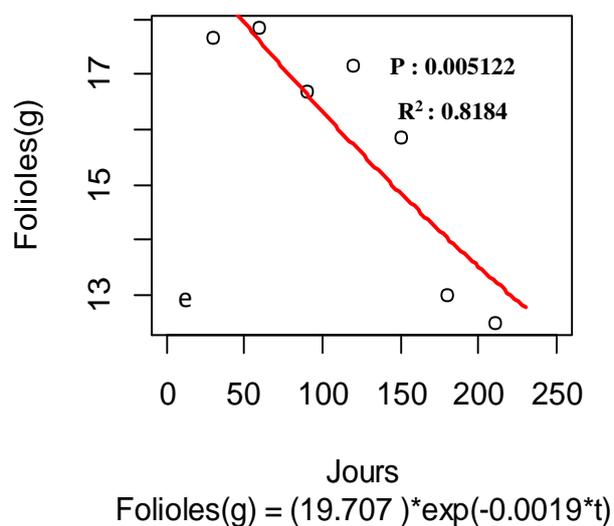
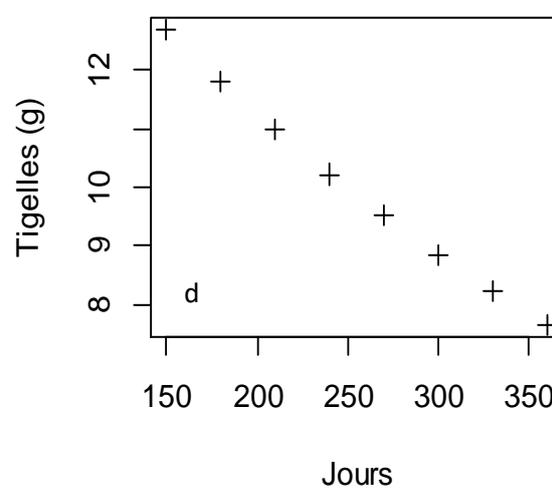
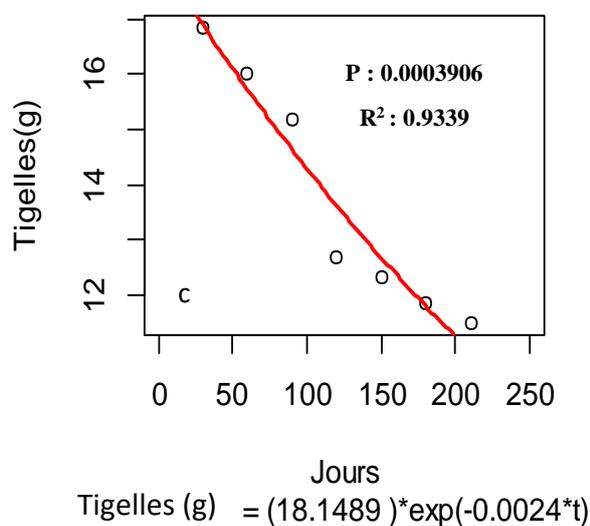
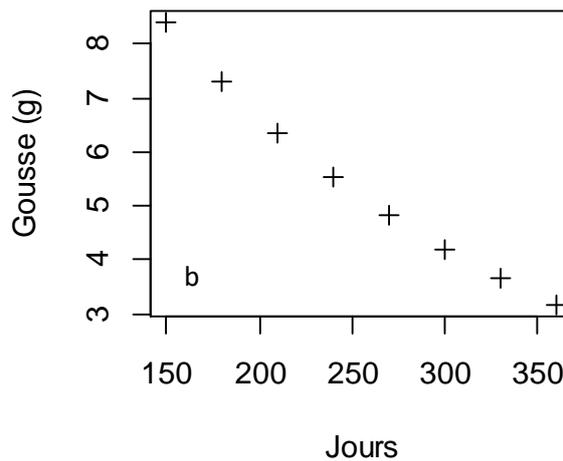
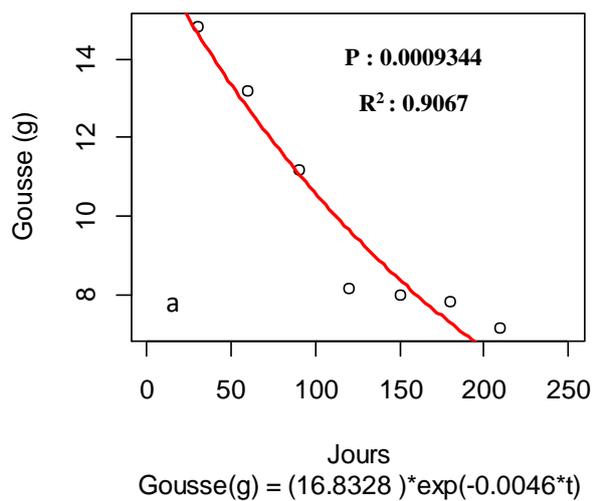


Figure 24 : Modèles de détermination et de prédiction de la perte de masse et de litière de gousses (à et b), de tigelles (c et d) et de folioles (e et f).

3.3.3. Germination

Les taux de germination ont été significativement plus élevés ($Pr = 0,00012$) pour les traitements G1 (80%), F2 (72%), F1 (70%) et T (70%) qui constituent essentiellement des traitements à faibles doses de litière et du témoin (T) (figure 25). Les traitements à fortes doses de litière ont eu les taux de germination les moins élevés : G3 (67%), G2 (63%) F4 (59%), G4 (55%) et F3 (50%).

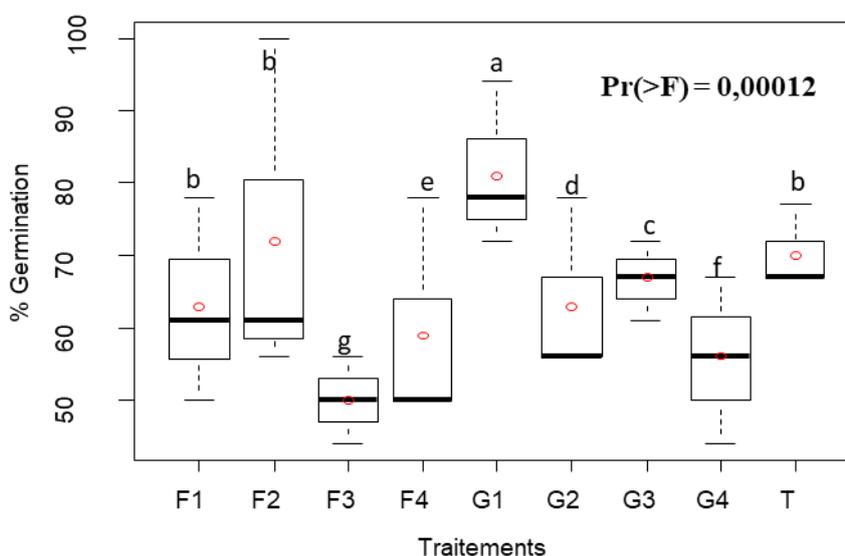


Figure 25 : Taux de germination du riz en fonction des traitements

3.3.4. Hauteur

L'évolution de la hauteur des plants en fonction du temps montre une allure croissante 15 jours après semis (JAS) et 60 JAS pour tous les traitements (figure 26). Cependant, la croissance ralentit entre 30 JAS et 45 JAS pour l'ensemble des traitements.

Il n'y a pas eu de différence significative de croissance en hauteur entre les différents traitements à 15 JAS. Cependant, pour les autres dates, les hauteurs les plus élevées significativement ont été observées pour les traitements à doses élevées de litière de gosses G3 et G4, à 30 JAS ($Pr = 0,0015$), 45 JAS ($Pr = 0,006$) et 60 JAS ($Pr = 0,020$) (tableau 7).

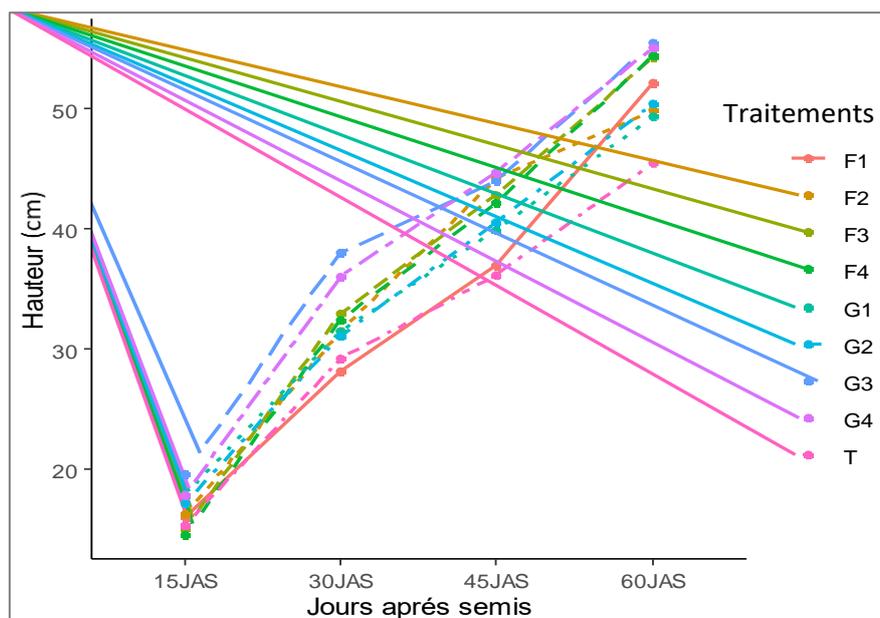


Figure 26 : Evolution de la hauteur des plants en fonction du temps

Tableau 7 : Hauteur des plants aux différentes dates d'observation pour les différents traitements

Traitements	15JAS	30JAS	45JAS	60JAS
F1	15,9a*	28,2c	36,9bc	52,1ab
F2	16,2a	31,4abc	44,1ab	49,9ab
F3	15,1a	32,9abc	42,8abc	54,3ab
F4	14,5a	32,4abc	42,1abc	54,5ab
G1	17,8a	31,5abc	39,9abc	49,4ab
G2	17,1a	31,0abc	40,6abc	50,5ab
G3	19,6a	38,0a	44,1ab	55,5a
G4	17,9a	36,0ab	44,7a	55,1a
T	15,3a	29,2bc	36,1c	45,5b
Pr(>F)	0,244	0,00364 **	0,00311 **	0,0203 *
Moyenne	16,60556	32,29877	41,25125	51,9

*Pour chaque date, les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Student-Newman-Keuls (SNK), seuil 5%).

3.3.5. Tallage

Le nombre de talles par plant de riz pour tous les traitements s'accroît significativement aux dates 15 JAS - 45 JAS pour ensuite ralentir entre 45 JAS et 60 JAS à l'exception du traitement F1 pour lequel il y a eu une augmentation pour la période 45 JAS – 60 JAS (figure 27).

Globalement, le nombre de talles a été significativement différent pour les différentes dates d'observation : 30 JAS (Pr = 0,04), à 45 JAS (Pr = 0,008) et 60 JAS (Pr = 0,04) (tableau 8). Les traitements G4, G3, F4 et F3 ont eu significativement plus de talles que G1, F1 et T.

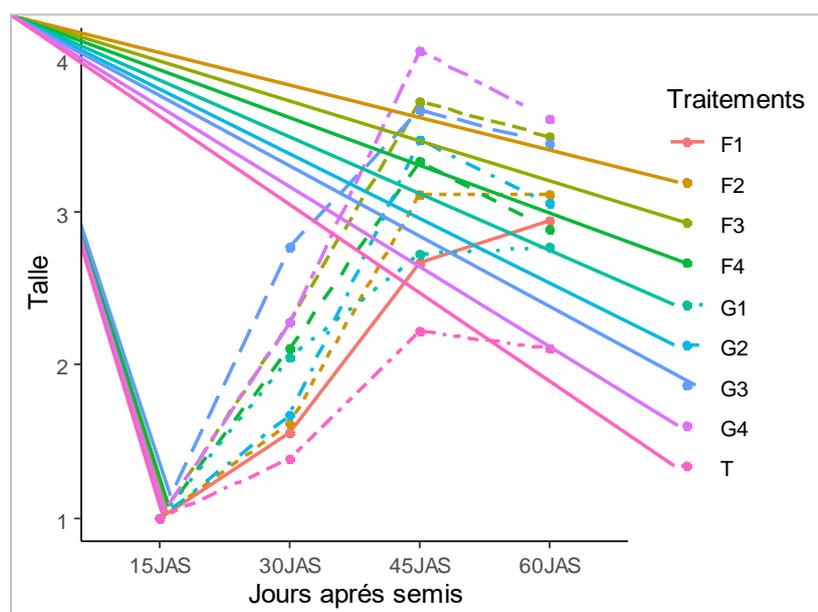


Figure 27 : Nombre de talles en fonction du temps pour les différents traitements

Tableau 8 : Variation du tallage en fonction du temps pour les différents traitements

Traitements	30JAS	45JAS	60JAS
F1	1,6cd*	2,3e	2,6d
F2	1,6cd	3,1c	2,7d
F3	2,3b	3,7ab	3,5b
F4	2,3b	3,8ab	3,4b
G1	2,1bc	2,7d	2,6d
G2	1,7cd	3,5bc	3,1c
G3	2,9a	3,8ab	3,6ab
G4	2,3b	4,1a	3,9a
T	1,4d	2,2e	2,1e
Pr(>Chi)	0,04*	0,008**	0,04*
Moyennes	1,9	3,2	3,1

*Pour chaque date, les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Student-Newman-Keuls (SNK), seuil 5%).

3.3.6. Feuilles

Tous les traitements ont eu une forte augmentation du nombre de feuilles par plant aux dates 15 JAS - 45 JAS pour ensuite ralentir entre 45 JAS - 60 JAS (figure 28). Le nombre de feuilles pour G4, G3 et F3 a été significativement plus élevé que le reste des traitements F1 et T aux différentes périodes d'observation au 15^{ème} JAS (Pr = 0,033), au 30^{ème} JAS (Pr = 0,002), au 45^{ème} JAS (Pr = 0,0002) et au 60^{ème} JAS (Pr = 0,001) (tableau 9). Entre 45 et 60 JAS, G3 a enregistré une plus forte baisse du nombre de feuilles.

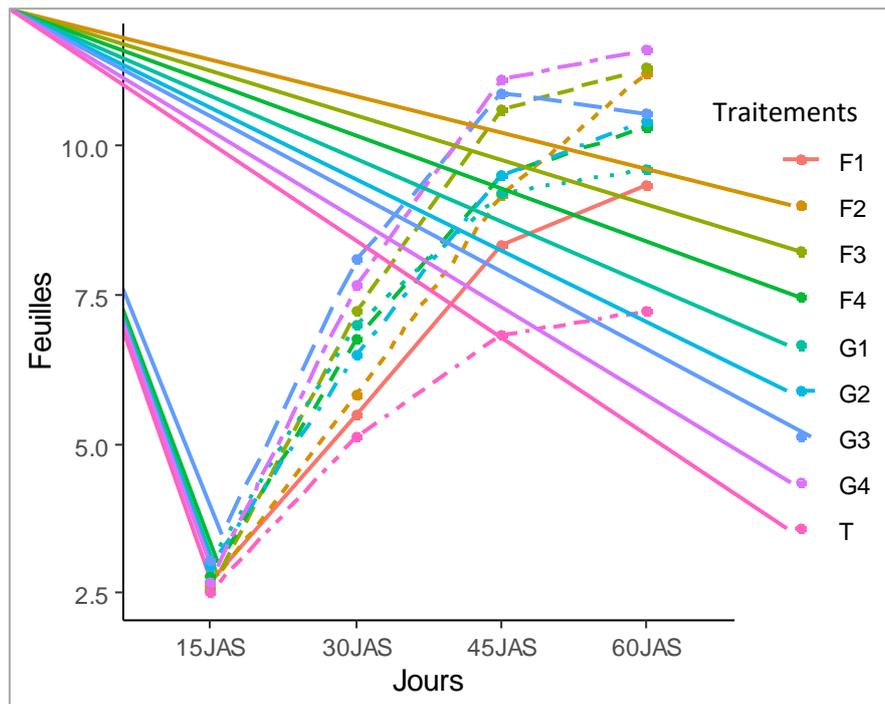


Figure 28 : Evolution du nombre de feuilles en fonction du temps

Tableau 9 : Variation du nombre de feuilles en fonction des traitements et du temps

Traitements	15JAS	30JAS	45JAS	60JAS
F1	2,7bc*	5,5de	8,3cd	9,4cd
F2	2,6c	5,8cde	9,2bc	11,2ab
F3	2,6c	7,2abc	10,6ab	11,3ab
F4	2,8abc	6,8abcd	9,5abc	10,3abc
G1	3ab	7,0abcd	9,2abc	9,6bc
G2	2,9ab	6,5bcde	9,5abc	10,4abc
G3	3.1a	8,1a	10,9ab	10,6abc
G4	2,7abc	7,7ab	11,1a	11,6a
T	2,5c	5,1e	6,8d	7,2d
Moyenne	2,8	6,6	9,5	10,2
Pr(>Chi)	0,033*	0,002**	0,0002***	0,001**

*Pour chaque date, les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Student-Newman-Keuls (SNK), seuil 5%).

3.3.7. Chlorophylle

Les traitements G1 (24,7) et T (24,66) ont eu les teneurs en chlorophylle les plus faibles, comparées au reste des traitements à savoir F1 (28), F2 (28), F3 (27,9), G4 (27,9), G2 (27,4), F4 (27,3) et G3 (27,3) (Pr = 1.04×10^{-10}) (figure 29).

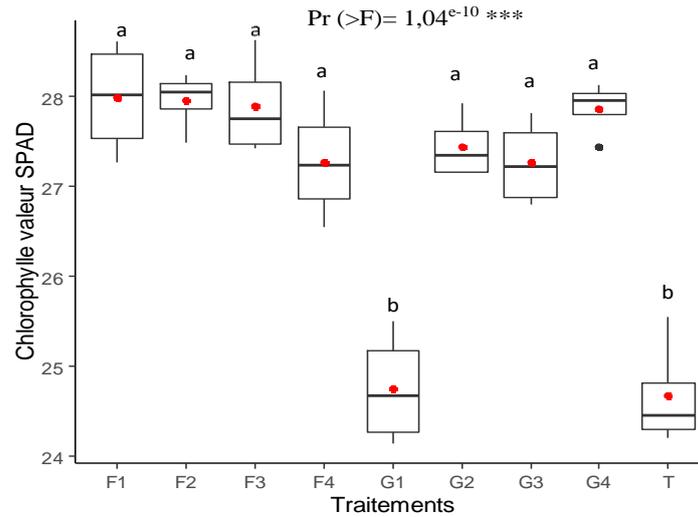


Figure 29 : Teneur de la chlorophylle en fonction des traitements

3.3.8. Duré du cycle du riz

La date d'épiaison n'a pas significativement varié entre les différents traitements ($Pr = 0,24$). Par contre, la date à 80% de maturité physiologique a varié significativement pour les différents traitements ($Pr = 0,0093$) (figure 30). Le traitement G3 a atteint 80% de maturité physiologique après 80 jours de semis, ce qui est considéré comme une maturité précoce. Certains des traitements ont atteint 80% de maturité physiologique respectivement à 86 jours pour F3, 83 jours pour F4, 83 jours pour G1, 85 jours pour G2, 83 jours pour G4. La maturité du riz a toutefois été tardive pour les traitements constitués de petites doses de litière de feuilles à savoir F1 (87 jours), F2 (88 jours) et pour le témoin T (89 jours).

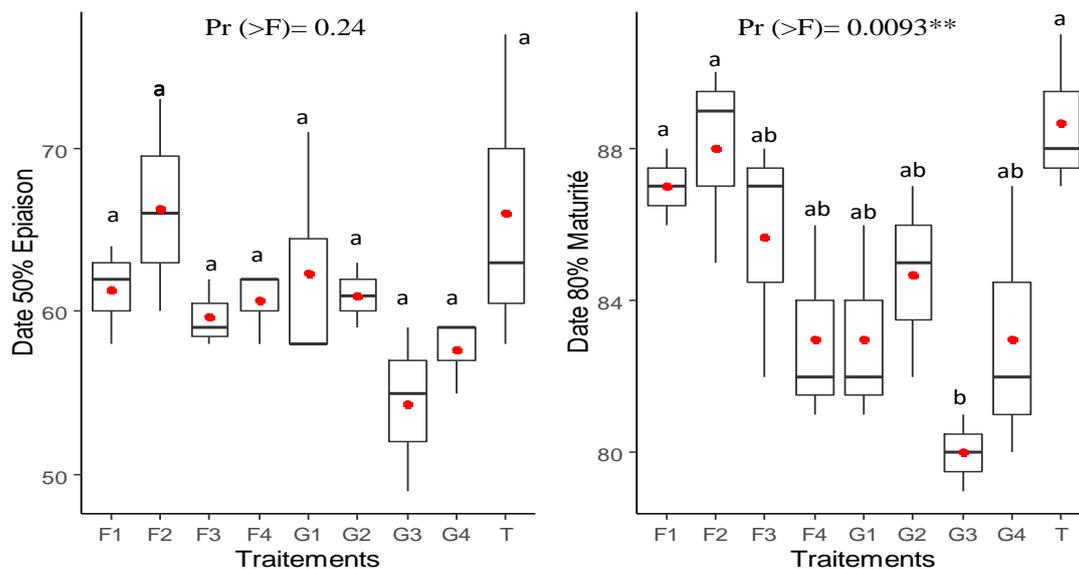


Figure 30 : Variation des cycles (50% épiaison et 80% maturité) en fonction des traitements

3.3.9. Rendement

Le rendement a été significativement différent entre les traitements ($Pr = 0,000294$) (figure 31). Le traitement G4, avec la plus forte dose de litière de gousses, a eu un rendement significativement plus élevé ($1,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) comparé au traitement T (témoin) ($0,75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Il est suivi des traitements G3 ($1,43 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), F4 ($1,44 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) et F3 ($1,42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

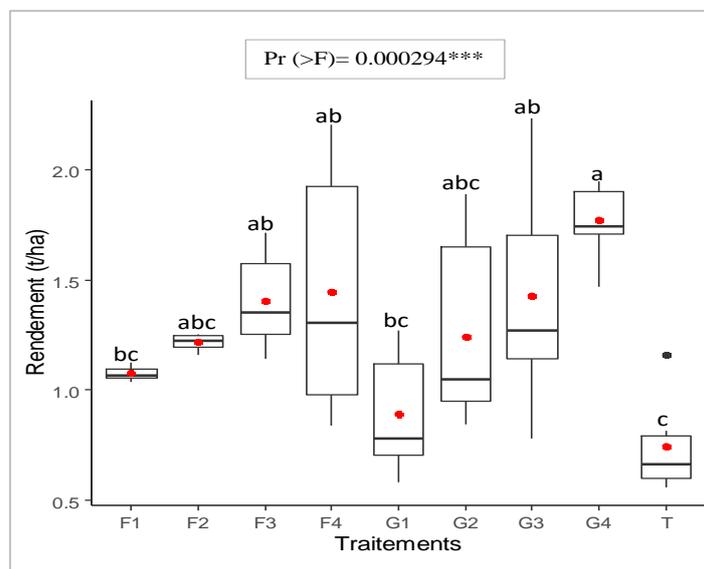


Figure 31 : Le rendement en fonction des différents traitements

3.3.10. Biomasse

La biomasse aérienne sèche a été significativement différente entre les traitements ($Pr = 0,049$). Cependant, il n'y a pas eu de variation pour la biomasse sèche racinaire ($Pr = 0,65$) (tableau 10). Le traitement F3 a eu la biomasse aérienne la plus élevée significativement ($19,3\text{g}$) comparé au témoin T (9g).

Tableau 10 : Variation des biomasses sèches (aérienne et racinaire) entre les traitements

Traitements	Aérienne	Racinaire
F1	13,3ab*	9,0a
F2	18,0ab	8,3a
F3	19,3a	10,0a
F4	17,0ab	7,7a
G1	14,7ab	7,3a
G2	15,0ab	7,0a
G3	15,3ab	10,0a
G4	14,7ab	11,0a
T	9,0b	6,7a
Moyennes	15,14815	8,555556
Pr (>F)	0,049 *	0,65

*Les valeurs sur une même colonne présentant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes (Student-Newman-Keuls (SNK), seuil 5%).

3.3.11. Corrélation entre variables et traitements

Les deux axes retenus expliquent 82% de la variabilité entre les différents traitements (Figure 32). Nous observons globalement une corrélation entre les variables tels que les biomasses (aérienne et racinaire), le nombre de feuilles (45 et 60 JAS), de talles (45 et 60 JAS), la hauteur (45 et 60 JAS) et le rendement. Ces variables sont toutefois non corrélées avec la date 50% floraison, la date 80% de maturité ainsi que la germination et la hauteur à 15 JAS.

Sur la base de la dispersion de ces variables, il apparaît globalement une opposition des traitements F3, F4, G3 et G4 aux traitements tels que F1, G1 et T (témoin). F3, F4, et G4 sont en effet, caractérisés par des valeurs élevées concernant les biomasses (aérienne et racinaire), le nombre de feuilles (45 et 60 JAS), de talles (45 et 60 JAS), la hauteur (45 et 60 JAS) et le rendement, par contre faibles pour les traitements G1 et le témoin. Les traitements F1, F2 et le témoin, caractérisés par une floraison et une maturité tardive, demeurent cependant opposés au traitement G3 marqué par une maturité précoce.

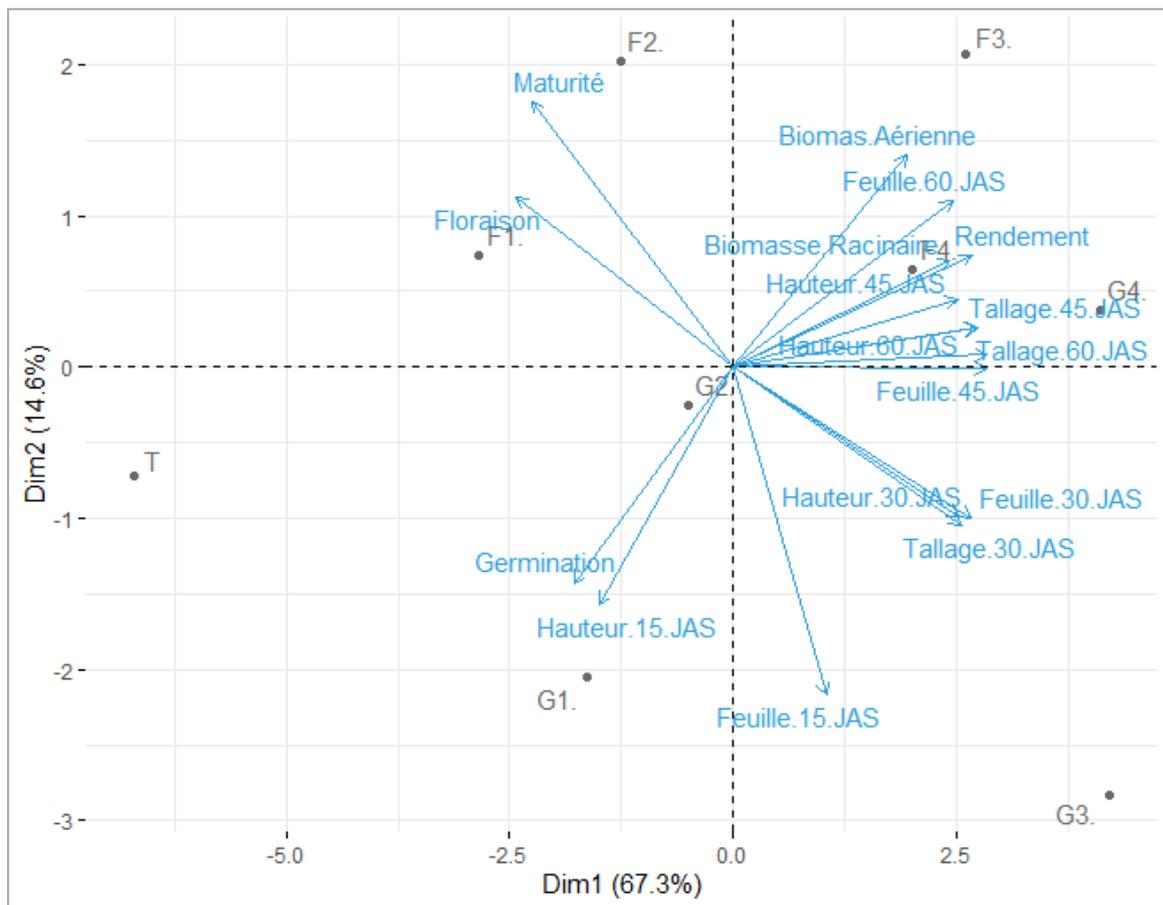


Figure 32 : Répartition des traitements en fonction des variables de croissance et de développement du riz

3.4. Discussion

L'étude de la décomposition de la litière de *Parkia biglobosa* a permis de déterminer la vitesse de décomposition des gousses, des tigelles et des folioles. Quelle que soit la date de mesure, la litière de gousses a eu une décomposition plus rapide suivie de la litière de tigelles et de folioles. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que les gousses sont riches en glycosides et en caroténoïdes qui sont des composantes facilement assimilables par les organismes (Onyeisi, 2013). Cependant, comparée à la décomposition de litières d'autres essences, la litière de *P. biglobosa* semble se décomposer plus rapidement, pouvant ainsi perdre pas moins de 32% du poids initial après la saison des pluies (4 mois) selon Bayala et al. (2005).

Concernant l'effet de l'apport de la litière de *P. biglobosa* sur la culture du riz en station, le taux de germination du riz a été plus élevé pour les traitements constitués de petites doses de litière et du témoin. Les fortes doses de litière de *Parkia biglobosa* ont eu des effets négatifs sur le taux de germination du riz. Des résultats similaires ont été obtenus par Bayala et al., (2003) et Sourabie et al., (2020) qui ont montré, l'effet plus ou moins inhibiteur de la paille de gousses et de feuilles sur la germination et la croissance de certaines spéculations. En effet, plusieurs auteurs ont montré que les graines de riz germent plus rapidement dans des sols légers contenant peu ou pas de matière organique (Valdés-Rodríguez et al., 2013 ; Koutouan et al., 2017). Cependant, la matière organique joue un rôle important dans le fonctionnement du sol en agissant sur ses caractéristiques physiques, biologiques et chimiques, qui améliorent substantiellement sa fertilité et par conséquent la croissance des plantes (Huber et Schaub, 2011; Diatta et al., 2019 ; Goudiaby et al., 2020). Cela pourrait à cet effet, expliquer certains de nos résultats relatifs aux paramètres agro-morphologiques notamment la croissance en hauteur, le nombre de talles et de feuilles. Globalement, ce sont les traitements avec les fortes doses de litières qui ont le plus favorisé la croissance du riz. La quantité de litière apportée, ainsi que la qualité de cette litière qui est très riche en éléments minéraux seraient à l'origine des effets positifs sur la croissance du riz (Bayala et al., 2005 ; Diallo et al., 2008, 2015 ; Aboyeji et al., 2019). Nos résultats sont similaires à ceux de Uyovbisere et Elemo, (2002) et Massai et al., (2020) qui ont montré l'effet bénéfique de la litière de *Parkia biglobosa* sur la croissance du maïs et de la tomate. La décomposition de la litière de *Parkia biglobosa* est rapide et libère beaucoup de nutriments, essentiels au développement des cultures (Shinya et al., 2010).

Les teneurs élevées en chlorophylle des plants obtenus pour les traitements à forte dose de litière pourraient être dues à la quantité non négligeable d'éléments azotés rendus disponibles grâce à la décomposition de la litière de *Parkia biglobosa*. La teneur en chlorophylle des feuilles pourrait être étroitement corrélée à la disponibilité d'éléments nutritifs en particulier azotés

(Pouzet et al., 2007). Nos résultats sont similaires à ceux de Habiba et al., (2012) ; Nakro et al., (2020) qui avaient trouvé que l'apport d'engrais influencerait la teneur en chlorophylle de la culture étudiée. La très faible teneur en chlorophylle observée pour G1 pourrait donc être liée à un épuisement des éléments nutritifs issus de la décomposition rapide de la petite dose de litière de gousses.

Nos résultats ont montré un retard observé à 80% de maturité physiologique, pour les traitements avec de petites doses de litière de feuilles (F1 et F2) et le témoin (T). Ces résultats sont similaires à ceux de Diallo et al. (2010) qui ont montré que l'apport de matière organique avait contribué à réduire le nombre de jours de maturation du riz. Ceci pourrait être expliqué par le fait que la matière organique amendée a tendance à influencer favorablement sur la porosité totale, l'humidité et la capacité de rétention en eau du sol (Koull et Halilat, 2016). Selon Dingkuhn, et al. (1995), pour une même variété de riz et sur un même site, la diminution de la longueur du cycle est souvent provoquée par la baisse d'humidité.

En plus de son influence très positive sur la croissance (hauteur, talle, feuille) des plants de riz, les apports de litières ont également eu un effet très satisfaisant sur le rendement potentiel. C'est principalement les traitements avec les plus grandes doses de litière G4, G3, F4, et F3 qui ont produit les rendements les plus élevés. Cela pourrait toutefois s'expliquer par la quantité et la qualité de litière apportée, mais également par la décomposition rapide qui libère beaucoup de nutriments (C, N, P, Ca) (Uyovbisere et Elemo, 2002 ; Bayala et al., 2005 ; Buba, 2015b ; Aboyeji et al., 2019).

3.5. Conclusion

Cette étude a permis de déterminer le temps de décomposition de la litière de *Parkia biglobosa*, ainsi que l'effet son amendement sur la croissance et le rendement du riz en station. L'évaluation de la décomposition a permis de montrer que les gousses se décomposent beaucoup plus rapidement que les tigelles et folioles. Concernant les paramètres agromorphologiques, c'est avec les petites doses de litière [G1 (300 g.m⁻²) et F2 (1000 g.m⁻²)] que les taux de germination de riz ont été les plus élevés, respectivement (80%) et (72%). Le nombre de talles et de feuilles, et la hauteur des plants ont été plus importants pour les amendements avec des doses élevées en litière de gousses (G4 et G3) et de feuilles (F3 et F4). Les rendements potentiels en grain ont été plus élevés avec les fortes doses de gousses et de feuilles (G4 (2,94 t.ha⁻¹), G3 (1,44 t.ha⁻¹), F4 (1,42 t.ha⁻¹) et F3 (1,40 t.ha⁻¹)). Ainsi, l'effet de la litière de *Parkia biglobosa* observé suggère une association bénéfique entre l'arbre et la culture du riz dans les rizières.

CHAPITRE 4 : Effet du couvert de *Parkia biglobosa* (JACQ.) R. BR. EX G. DON et des amendements organiques sur le sol, la croissance et le rendement du riz dans la vallée de Katouré en Basse-Casamance, Sénégal

Résumé

La présence de *Parkia biglobosa* dans les rizières pourrait jouer un rôle important dans l'amélioration de la fertilité des sols et du rendement du riz, bien qu'il n'y ait que peu de travaux dans ce domaine. L'objectif de cette étude a été de déterminer l'effet de la présence de *Parkia* et des amendements organiques (biochar et compost) sur les caractéristiques du sol et sur la productivité du riz. L'étude a été conduite durant 2 années, dans la vallée de Katouré, dans 2 zones distinctes : une zone avec des individus de *Parkia* considérés comme étant sous influence de *Parkia* (zone *Parkia*) et une découverte sans arbre, située au moins à 50 m d'un pied d'arbre. Dans la zone *Parkia*, 15 pieds de *Parkia* dispersés dans le parc ont été retenus. La projection verticale du houppier a permis de déterminer un cercle de rayon R et sur une des directions cardinales de chaque arbre, 3 parcelles élémentaires ont été matérialisées, à 0-R/2, à R/2-R et à R-2R du pied de l'arbre. Dans chacune de ces parcelles, les amendements organiques, biochar (B) et compost (C), ont été apportés suivant 5 modalités : biochar, compost, B+C à une dose de 50% ou B+C (1/2), B+C à une dose de 100% ou B+C(100) et le témoin. Dans la zone sans arbre, un dispositif en blocs aléatoires complets a été mis en place et les 5 modalités des amendements reconduites. Les paramètres étudiés ont porté sur les caractéristiques du sol, sur les données agro-morphologiques et le rendement du riz. La présence de *Parkia* s'est traduite par une augmentation significative des bases échangeables Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ ($p < 0.05$) en année 2 d'expérimentation dans la zone *Parkia* comparée à la zone sans arbre avec respectivement pour le Ca^{2+} 2,2 meq/100g contre 1,1 meq/100g ; pour le Mg^{2+} , 0,96 meq/100g contre 0,50 meq/100g, et pour le K^+ , 0,018 meq/100g contre 0,03 meq/100g. Les taux de matière organique, de carbone et d'azote ainsi que l'essentiel des bases échangeables et le pH ont été significativement ($p < 0.05$) plus importants dans les parcelles amendées sous le houppier de *Parkia* comparées à celles non amendées. Le rendement du riz a été significativement plus élevé ($p = 0,047$) pour la distance R/2-R (3,7 t.ha⁻¹). La matière organique, le carbone, l'azote ont été significativement ($\text{Pr} < 0.05$) corrélés au rendement du riz avec respectivement 61%, 61% et 57%. L'apport des amendements (compost et biochar) a permis d'augmenter le rendement du riz de plus de 53%, indépendamment de la présence de *Parkia*.

Mots clés : *Parkia biglobosa*, riz, amendement organique, anacarde, biochar

Abstract

The presence of *Parkia biglobosa* in rice fields could play a key role in improving soil fertility and rice yield although there is little work in this area. The objective of this study was to determine the effect of the presence of *Parkia* and organic amendments (biochar and compost) on soil characteristics and rice productivity. The study was conducted over 2 years, in the Katouré valley, in 2 distinct zones: an area with individuals of *Parkia* considered to be under the influence of *Parkia* (*Parkia* zone) and an area without trees, located at least 50 m from a tree stand. In the *Parkia* zone, 15 *Parkia* trees scattered throughout the park were selected. The vertical projection of the tree crown was used to determine a circle of radius R, and three elementary plots were marked out on one of the cardinal directions of each tree, according to the distance from the foot of the tree, at 0-R/2, R/2-R and R-2R. In each of these plots, organic amendments, biochar (B) and compost (C), were applied in 5 modalities: biochar, compost, B+C at a dose of 50% or B+C(1/2), B+C at a dose of 100% or B+C(100) and the control. In the treeless zone, a completely randomized block design was set up and the 5 organic amendment modalities were repeated. The parameters studied included agro-morphological data, rice yield and soil physical and chemical characteristics. The presence of *Parkia biglobosa* resulted in an improvement of soil structure compared with the area without *Parkia*. The levels of organic matter, carbon and nitrogen, as well as the essential exchangeable bases (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺) and pH, were higher in the area under the tree crown and in the amended plots than in the areas without the crown and in the unamended plots. The canopy study showed higher productivity ($p = 0.047$) in plots located at distance R/2-R (3.7 t.ha⁻¹). All improved treatments (compost and biochar) outperformed the unimproved control by over 53% in terms of yield in the presence of *Parkia* trees or in the absence of tree.

Keywords: *Parkia biglobosa*, rice, organic amendment, cashew nut, biochar

4.1. Introduction

La riziculture, bien qu'étant la principale activité agricole de la Casamance, fait face à de nombreuses contraintes édaphiques en l'occurrence la salinisation, l'acidification et l'ensablement des vallées rizicoles. La salinisation des rizières de bas-fond entraîne leur abandon progressif au profit des rizières de plateau (APRAO, 2013 ; Manzelli et al., 2015). Dans les vallées rizicoles, pauvres en matière organique, la présence éparse de ligneux, en particulier *Parkia biglobosa*, pourrait jouer un rôle important dans l'amélioration de la fertilité des sols. La littérature sur l'effet de la présence de *Parkia biglobosa* dans le paysage

agroforestier reste cependant assez mitigée. Selon plusieurs travaux, la présence de *Parkia biglobosa* dans les parcelles agricoles aurait une influence négative sur les cultures telles que le mil et le sorgho avec des rendements devenant plus affectés à mesure que l'on se rapproche du pied de l'arbre (Kessler, 1992 ; Ahmed et al., 2011 ; Pouliot et al., 2012 ; Sanou et al., 2012). Plusieurs hypothèses seraient avancées sur cet effet négatif, parmi lesquelles, la taille du houppier de l'arbre ou encore la qualité du sol (Bayala et al., 2002). Par contre, selon d'autres auteurs, la présence de *Parkia biglobosa* aurait une influence positive sur certaines cultures et sur la fertilité des sols (Jonsson, 1998; Aboyeji et al., 2019). Il y aurait un effet bénéfique de la décomposition de la litière qui contribuerait à améliorer la fertilité des sols en y apportant des nutriments (Buba, 2015a; Aboyeji et al., 2019). Dès lors, la présence de *Parkia biglobosa* dans les champs de producteurs y compris dans le système agroforestier de production du riz pourrait constituer un levier important d'amélioration de la fertilité des sols et d'augmentation du rendement des cultures malgré la quantité de litière peu importante de *Parkia* (Baye-Niwah et al., 2019).

L'effet de la présence de *Parkia biglobosa* sur les cultures pourrait être amélioré par un apport d'amendements organiques pour pallier la faible quantité de litière de *Parkia biglobosa* et à la faible teneur en matière organique du sol. L'effet bénéfique de l'apport d'amendements organiques, en particulier le compost et le biochar, sur l'amélioration de la fertilité du sol et sur l'augmentation des rendements est largement documenté (Diatta et al., 2019 ; Sagna et al., 2019). Cependant, l'effet de l'apport d'amendements organiques en présence de *Parkia*, a fait l'objet de peu d'études. Il serait dès lors intéressant d'étudier le comportement des plants de riz à mesure que l'on se rapproche du pied de *Parkia biglobosa* en vue de déterminer le potentiel inhibiteur ou non du houppier de *Parkia* sur la croissance et le rendement du riz. L'objectif de cette étude a été de déterminer l'influence du couvert de *Parkia biglobosa* et des amendements organiques à base de compost et de biochar sur les caractéristiques du sol, sur la croissance et le rendement du riz dans les vallées rizicoles.

4.2. Matériel et méthodes

4.2.1. Site de l'expérimentation

L'étude a été conduite durant 2 années successives, dans la vallée de Katouré sur du sol hydromorphe formé de matériau colluvial où la riziculture est la principale activité agricole. La vallée de Katouré polarise quatre villages (Katouré, Toubacouta, Bouhouyou et Boffa Bayotte).

4.2.2. Matériel végétal

La variété de riz BW 248-1 a été utilisée. C'est une variété résistante à la pyriculariose et à de nombreuses autres maladies. La variété est également tolérante à la verse et à la toxicité ferreuse (Mbodj et al., 1989). Avec un cycle semi-maturité de 125 jours et un rendement potentiel compris entre 4,5 et 6 tonnes par hectare, BW 248-1-B est une variété en culture submergée, recommandée principalement dans le sud du Sénégal (Dia, 2016).

4.2.3. Amendements

Les amendements utilisés sont constitués du compost, issu de pommes d'anacarde pressées et laissées en décomposition en tas au-delà d'un an, et du biochar provenant d'une pyrolyse incomplète. La composition chimique de ces amendements est représentée au niveau du tableau 11. Différentes formules ont été testées : les doses recommandées de biochar (B) (10 kg.m²) et de compost (C) (10 kg.m²), la combinaison de demi-doses de biochar et de compost B+C (1/2) et la combinaison de doses recommandées de biochar et de compost B+C(100).

Tableau 11 : Composition chimique des amendements organiques : biochar et compost d'anacarde

Composition chimique	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⁺ me/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)

4.2.4. Dispositif expérimental

L'étude a été conduite dans deux zones bien distinctes : une zone où seul *Parkia biglobosa* est présent comme ligneux et considéré comme sous influence de ce dernier (*zone Parkia*) ; et une zone dépourvue de ligneux et située au moins à 50 m des ligneux (*zone sans arbre*). Cette dernière condition constitue la situation témoin de l'effet de la présence de *Parkia* sur le rendement du riz.

Zone sous influence de Parkia biglobosa

Dans la zone sous influence de *Parkia biglobosa*, 15 pieds de *Parkia biglobosa* dispersés dans le parc ont été retenus de manière aléatoire ; leurs caractéristiques ont été présentées sur le tableau 12. Les arbres avec un diamètre supérieur ou égal à 5 cm, à 1,30 m au-dessus du sol correspondant à la poitrine d'homme (DHP) ont été retenus et la projection verticale de leur houppier a permis de déterminer un cercle de rayon R. Sur une des directions cardinales (Est, Ouest, Nord ou Sud) de chaque arbre, trois parcelles élémentaires ont été matérialisées suivant la distance par rapport au pied des arbres. Les parcelles ont été installées à 0-R/2, à R/2-R et à R-2R (Figure 33). C'est dans ces parcelles qu'ont été apportées les différentes formules d'amendements. Ces traitements ont été répétés au niveau de trois pieds d'arbres. Trois autres pieds qui n'ont pas été amendés ont constitué les arbres témoins pour cette étude.

Tableau 12 : Caractéristiques dendrométriques des pieds de *Parkia biglobosa* sous lesquels les inventaires ont été effectués

Fumures	Pieds	Hauteur	DHP	Dmin	Dmax	S houppier (m ²)
Compost	p1	15	70	10	14	113
Compost	p2	10,5	23	7	9	50
Compost	p3	6,5	19	4	6	20
Biochar	p1	13,5	45	11	13	113
Biochar	p2	9,5	27	9	11	79
Biochar	p3	12,5	32	9	10,5	75
B+C (1/2)	p1	13	37,5	13	15	154
B+C (1/2)	p2	9,5	32	5	7	28
B+C (1/2)	p3	6,5	15	4	5	16
Témoin	p1	6,5	15	2,5	3	6
Témoin	p2	6,5	16,5	4	6	20
Témoin	p3	5,5	14,5	4	5	16
B+C (100)	p1	10,5	27,3	4	5	16
B+C (100)	p2	11	23,5	9	11	79
B+C (100)	p3	10,5	27	7	8	44

DHP : Diamètre à la Poitrine d'Homme (DHP) ; **Dmin** : la longueur minimale du houppier des arbres ; **Dmax** : la longueur maximale du houppier des arbres ; **S houppier (m²)** : superficie de la limite du houppier projeté au sol.

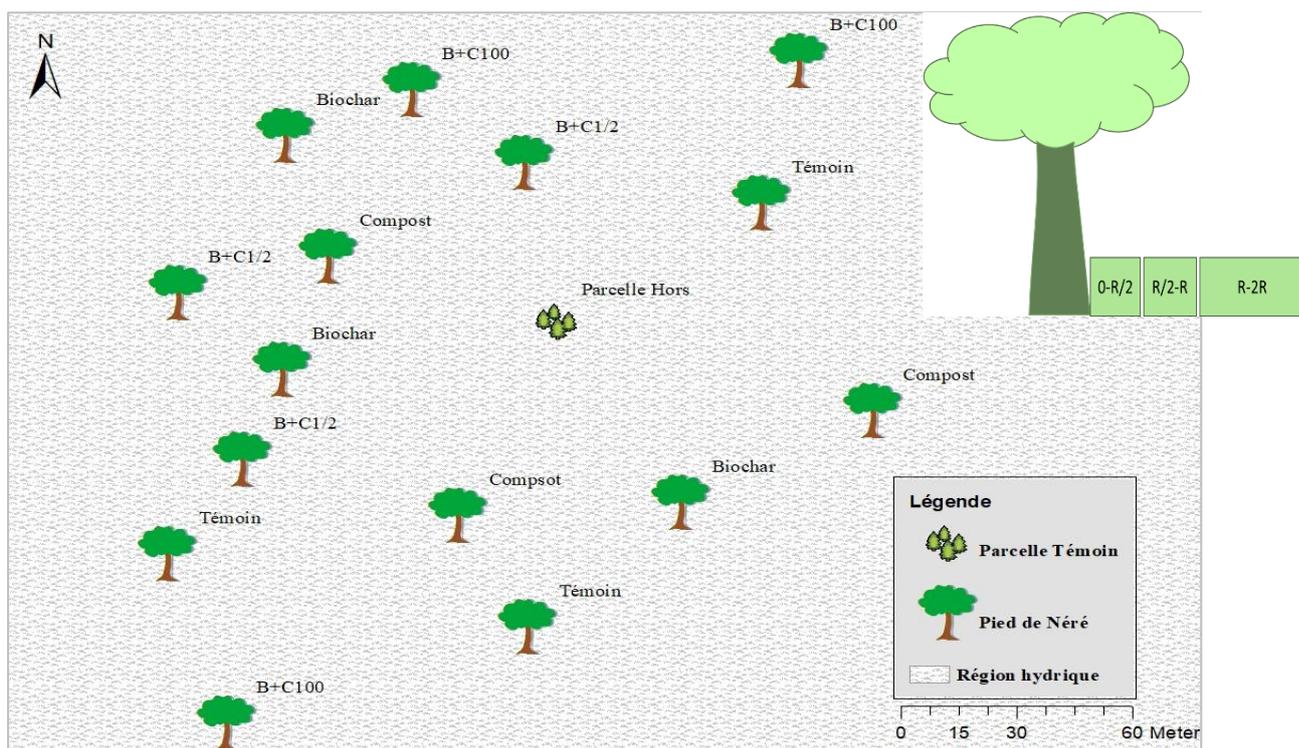


Figure 33 : Dispositif expérimental en condition sous influence de l’arbre

Zone sans arbre (Parcelle témoin)

L’étude dans la zone avec absence d’arbre, a été conduite suivant un dispositif en bloc complètement randomisé. Trois blocs distants d’1 m ont été retenus pour cette étude. Dans chaque bloc, l’apport d’amendement s’est effectué sur les 5 parcelles élémentaires distantes les unes des autres de 50 cm (Figure 34).

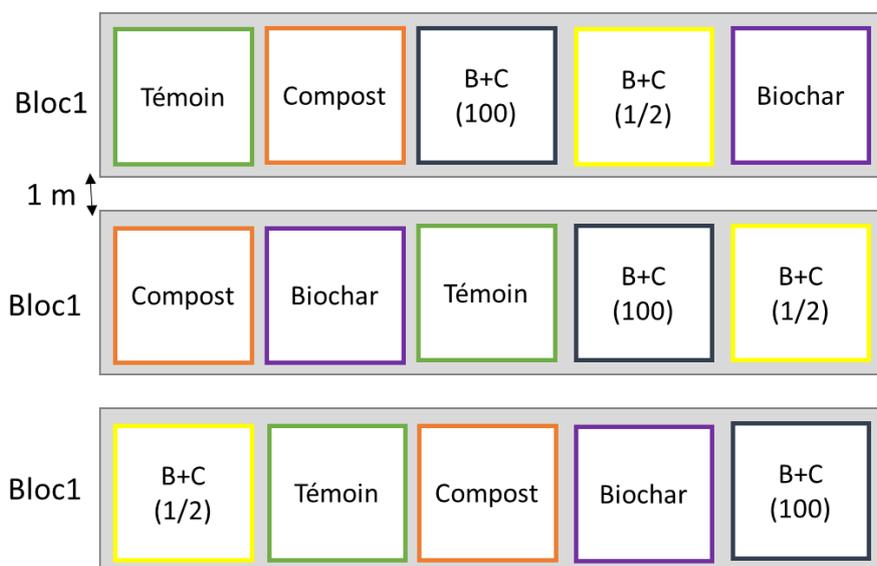


Figure 34 : Dispositif expérimental de la zone sans arbre

4.2.5. Conduite de l'essai

Les parcelles ont été labourées manuellement en formant des billons à l'aide du « kadiandou ». Par la suite, dans chacune des parcelles, les amendements organiques ont été apportés en respectant les différents traitements. Après une semaine, une pépinière de plants de riz âgés de 25 jours a été repiquée à raison de 2 plants par poquet suivant la technique standard vulgarisée par l'ISRA (ISRA, 2012).

4.2.6. Collecte de sol et de données

La collecte et l'analyse des échantillons de sol

Les échantillons de sol ont été prélevés au temps A0 (situation de référence) avant le déroulement de l'expérimentation, et par la suite successivement à la maturation du riz en première année (A1) et deuxième année (A2) d'expérimentation. Les prélèvements de sols ont été effectués à la profondeur 0-20 cm à l'aide d'une tarière dans toutes les parcelles. Dans les parcelles avec présence de *Parkia*, 5 prélèvements ont été effectués pour chacune des distances 0-R/2, R/2-R et R-2R. Au niveau de la zone sans arbre, 5 prélèvements (aux différents angles et au centre) ont été également effectués dans chaque parcelle. Tous les 5 échantillons de sol prélevés ont été mélangés par parcelle pour former un échantillon composite.

Ces échantillons ont été soumis à différentes analyses physiques et chimiques au laboratoire de l'Institut National de Pédologie (INP) à Dakar, Sénégal. Les paramètres retenus à cet effet ont été la granulométrie, le pH, la capacité d'échange cationique (CEC), les bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), la matière organique (MO), le carbone organique (C) et l'azote (N).

La collecte des paramètres agro-morphologiques du riz

Les données agro-morphologiques ont été collectées sur les plants de riz en première année (A1) et deuxième année (A2). Ces données ont concerné les paramètres listés ci- après.

La hauteur a été mesurée sur 6 plants de riz choisis au hasard dans chaque parcelle à maturité. Les mesures ont été effectuées du collet au sommet de la feuille la plus haute à l'aide d'une règle graduée.

La disposition de tallage : le décompte du nombre de talles (tiges) que contient chaque pied a été effectué sur 6 plants de riz pris au hasard dans chaque parcelle au 60^e après semis.

Le nombre de panicules et de talles non fertiles : le décompte de panicules et de talles qui n'ont pu produire de panicule (talle non fertile) a été effectué sur 6 plants de riz pris au hasard dans chaque parcelle pendant la phase de maturation du riz.

Le nombre de grains pleins et infertiles : le décompte a été effectué sur 8 panicules prises au hasard dans chaque parcelle durant la récolte du riz.

4.3.1.2. Caractéristiques chimiques

Les taux de MO, de C et d’N ainsi que les bases échangeables notamment Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+ ont été significativement ($P < 0.001$) plus élevés dans la zone sous influence de *Parkia* en première année d’expérimentation (tableau 13). En deuxième année d’expérimentation, les bases échangeables Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ ont été significativement les plus élevées en plus de la CEC ($p < 0.05$) dans la zone sous influence de *Parkia* comparée à la zone sans arbre avec respectivement pour le Ca^{2+} : 2,2 meq.100g⁻¹ contre 1,1 meq.100g⁻¹ ; pour le Mg^{2+} : 0,96 meq.100g⁻¹ contre 0,50 meq.100g⁻¹, et pour le K^+ : 0,018 meq.100g⁻¹ contre 0,03 meq.100g⁻¹. Le pH pour les deux années, le Na^+ et la CEC en année 2 n’ont pas beaucoup varié ($Pr > 0,05$) entre les deux zones.

Dans la zone sous influence de *Parkia*, les échantillons de sol prélevés directement sous le houppier en première année, ont présenté des valeurs de C, d’N et de K^+ significativement plus élevées que celles du sol prélevé en dehors du houppier, avec respectivement 0,84 meq.100g⁻¹ à 0-R/2 contre 0,69 à R-2R meq.100g⁻¹ pour le carbone et pour l’azote, 0,13 meq.100g⁻¹ à 0-R/2 contre 0,11 meq.100g⁻¹ à R-2R. En année 2, seuls les échantillons de sol prélevés à R/2-R ont eu des valeurs significativement plus élevées de MO, de C, d’N et de Ca^{2+} .

L’apport d’amendements a permis d’augmenter significativement ($P < 0.001$) le pH du sol comparé aux parcelles témoin non amendées et au sol de référence en année 1 et 2. Le pH est passé significativement ($p < 0.001$) de 3 à 4 pour l’ensemble des parcelles amendées en A1 et est resté à 4 pour les traitements B+C(100) et le biochar en A2. En première année, A1, les taux de MO, C et d’N et de bases échangeables Mg^{2+} , K^+ ont été significativement plus élevés avec le traitement B+C(100), comparés au traitement témoin, non amendé (tableau 14). En année 2, les taux de Ca^{2+} , Mg^{2+} et de K^+ ont significativement augmenté pour les traitements B+C(100), B+C(1/2) et biochar par rapport au témoin. La CEC a été significativement plus importante en année 2 pour les traitements B+C(100) et biochar avec respectivement 13,1 meq.100g⁻¹ et 11,9 meq.100g⁻¹.

Tableau 13 : Caractéristiques du sol en fonction du site, de la distance et l'apport d'amendement suivant les années

	pH eau		% MO		% C		N %		Ca ²⁺ meq/100g		Mg ²⁺ meq/100g		Na ⁺ meq/100g		K ⁺ meq/100g		CEC	
	année1	année2	année1	année2	année1	année2	année1	année2	année1	année2	année1	année2	année1	année2	année1	année2	année1	année2
Zone																		
Parkia	4,1 a*	3,7 a	1,34 a	0,9 a	0,78 a	0,54 a	0,12 a	0,09 a	3,2 a	2,2 a	1,2 a	0,96 a	0,025 a	0,03 a	0,45 a	0,18 a	11,7 a	11,9 a
Sans arbre	3,9 a	3,5 a	1,04 b	0,7 a	0,60 b	0,38 a	0,09 b	0,07 a	1,2 b	1,0 b	0,6 b	0,50 b	0,019 b	0,02 a	0,12 b	0,03 b	11,4 a	11,0 b
<i>p-value</i>	0,24	0,28	0,0008	0,08	0,0008	0,06	0,0002	0,08	0,0002	0,007	0,002	0,007	0,027	0,33	0,0002	0,004	0,737	0,022
Distance																		
0-R/2	4,34 a	3,84 a	1,5 a	0,93 b	0,84 a	0,54 b	0,13 a	0,09 ab	3,1 a	3,1 a	1,3 a	0,9 a	0,02 a	0,02 a	0,4 a	0,27 a	11,0 a	12,1 a
R/2-R	4,16 a	3,70 a	1,4 a	1,28 a	0,81 a	0,74 a	0,13 a	0,11 a	3,4 a	2,2 ab	1,5 a	1,0 a	0,03 a	0,03 a	0,4 a	0,19 ab	11,6 a	11,8 a
R-2R	3,82 b	3,50 a	1,2 ab	0,61 b	0,69 b	0,35 b	0,11 b	0,06 b	3,2 a	1,6 b	0,9 b	1,0 a	0,03 a	0,02 a	0,5 a	0,07 bc	12,5 a	11,9 a
> 50 m	3,88 ab	3,48 a	1,0 b	0,66 b	0,60 b	0,38 b	0,09 b	0,07 b	1,2 b	0,9 b	0,6 b	0,5 a	0,02 a	0,03 a	0,1 b	0,03 c	11,4 a	11,0 a
<i>p-value</i>	0,05	0,38	0,002	0,001	0,0004	0,001	3,47e-05	0,002	0,003	0,015	0,0003	0,12	0,13	0,1	0,002	0,0012	0,13	0,22
Amendement																		
B+C(100)	4,5 a	4,1 a	1,5 a	0,8 a	0,86 a	0,44 a	0,13 a	0,08 a	4,0 a	2,9 a	1,4 a	1,28 a	0,03 a	0,03 a	0,49 a	0,31 a	10,6 a	11,0 c
B+C(1/2)	4,1 a	3,5 b	1,3 ab	1,0 a	0,76 ab	0,57 a	0,12 ab	0,09 a	3,6 a	2,0 ab	0,8 b	1,24 a	0,03 a	0,02 a	0,41 ab	0,14 b	11,9 a	13,1 a
Biochar	4,4 a	4,1 a	1,2 ab	1,1 a	0,71 ab	0,63 a	0,11 ab	0,10 a	3,6 a	3,0 a	1,1 ab	0,77 ab	0,02 a	0,02 a	0,25 b	0,11 bc	11,0 a	11,9 b
Compost	4,2 a	3,5 b	1,2 ab	0,9 a	0,69 ab	0,54 a	0,11 ab	0,09 a	1,5 b	1,1 bc	0,1 ab	0,56 b	0,02 a	0,02 a	0,29 b	0,11 bc	11,6 a	11,5 bc
Témoin	3,2 b	3,1 c	1,1 ab	0,6 a	0,64 ab	0,35 a	0,10 b	0,06 a	0,9 bc	0,6 c	0,9 b	0,39 b	0,02 a	0,02 a	0,0 c	0,02 c	11 a	11,0 c
Initiale	3.1 b	3.1 c	1,0 b	1,0 a	0.59 b	0.59 a	0.10 b	0.10 a	0.5 c	0.5 c	0.3 c	0.3 b	0.02 a	0.02 a	0.02 c	0.02 c	9.7 b	9.7 d
<i>p-value</i>	1,17e-12	2,37e-09	0,025	0,19	0,025	0,19	0,05	0,16	1,40e-10	6,24e-06	0,0018	6,18e-07	0,09	0,1	1,74E-08	5,35e-05	0,048	8,81e-09

*Pour chaque facteur, les traitements présentant les mêmes lettres par colonne ne sont pas statistiquement différents (test de Fisher, p<0,05).

4.3.2. Le riz

4.3.2.1. Hauteur moyenne

La hauteur moyenne des plants de riz a été significativement ($Pr = 1.44e-09$) plus élevée dans la zone sous influence de *Parkia* comparée à la zone sans arbre quelle que soit l'année. En A1 comme en A2, la hauteur moyenne des plants de riz a été respectivement de 90 cm et 109 cm en zone sous influence de *Parkia biglobosa*. Cette hauteur moyenne a été de 91 cm en A1 et A2 dans la zone sans arbre (Figure 36A).

Par rapport au pied de l'arbre, les hauteurs moyennes, significativement les plus élevées ($Pr = 9.95e-10$), ont été observées à 0-R/2, avec des valeurs respectives de 100 cm et 117 cm en A1 et A2 (Figure 36B). Ces valeurs décroissent significativement ($Pr < 2e-16$) à mesure que l'on s'éloigne de l'arbre, avec à R/2-R, 94 cm et 108 cm respectivement en A1 et A2 ; à R-2R, 88 cm et 100 cm respectivement en A1 et A2 ; et à plus de 50 m de tout arbre 91 cm en A1 et A2.

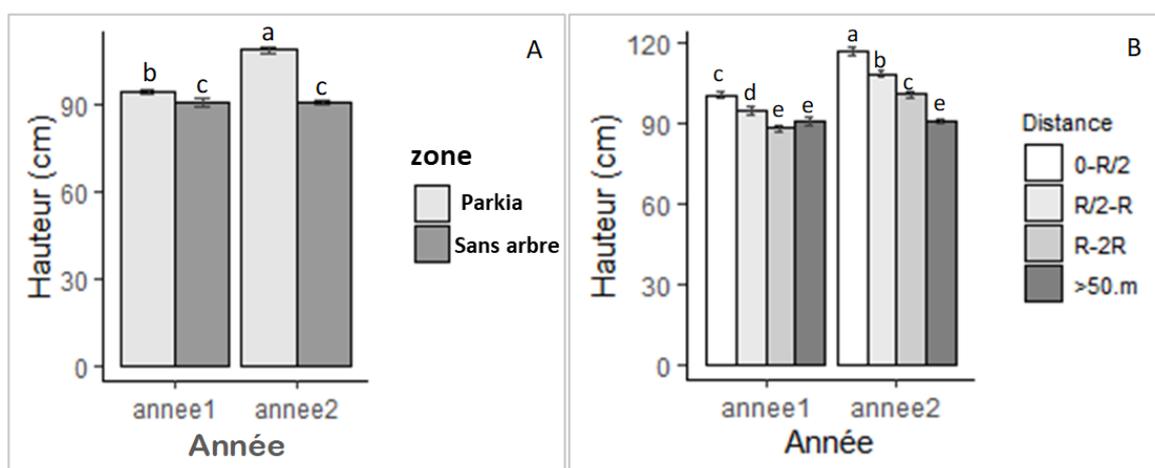


Figure 36 : Variation de la hauteur moyenne en fonction des années selon la zone (A) et la distance (B)

Tous les traitements avec apport d'amendement ont présenté des hauteurs moyennes significativement plus élevées que les témoins quelle que soit l'année (figure 37A). En fonction des apports d'amendements organiques, les hauteurs moyennes les plus élevées significativement ($Pr < 0,005$) ont été obtenues avec les traitements B+C (100), compost et B+C (1/2) en année 1 peu importe la zone et la distance par rapport au pied de l'arbre (figures 37B & 38). En A2 cependant, il n'y a pas eu de différences significatives ($P > 0,05$) entre les diverses formules d'amendements organiques apportés sur la hauteur moyenne des plants.

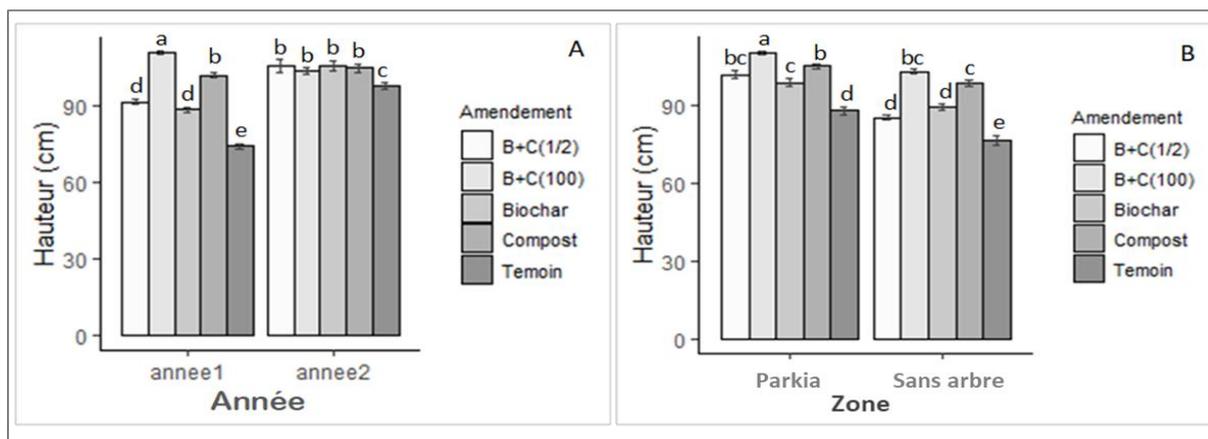


Figure 37 : Variation de la hauteur moyenne en fonction de l'année (A) et de la zone (B) selon les amendements

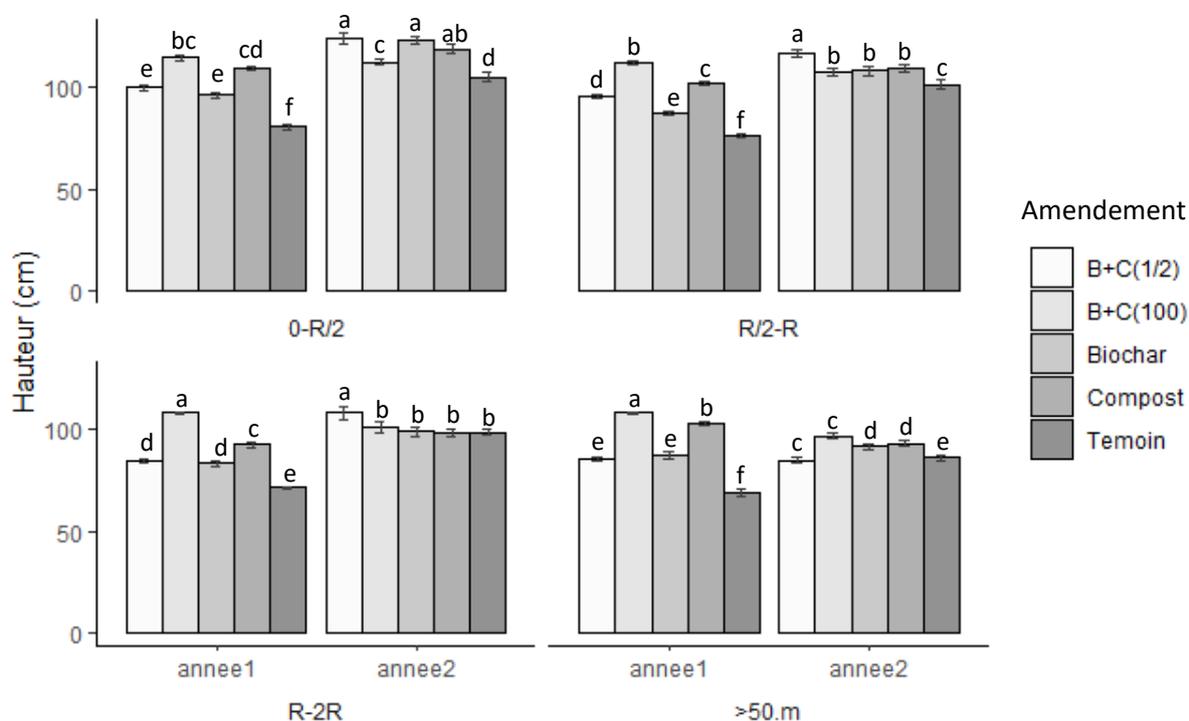


Figure 38 : variation de la hauteur en fonction de l'année et de la distance suivant les amendements

4.3.2.2. Nombre moyen de talles

Le nombre moyen de talles par plant de riz n'a pas varié en fonction des années et selon les zones ($P_r = 0,46$) (Figure 39A). Par contre, ce nombre a été significativement plus élevé ($p < 0.05$) pour les distances 0-R/2 et R/2-R en année 1 et 2 par rapport à la distance R-2R (Figure 39B).

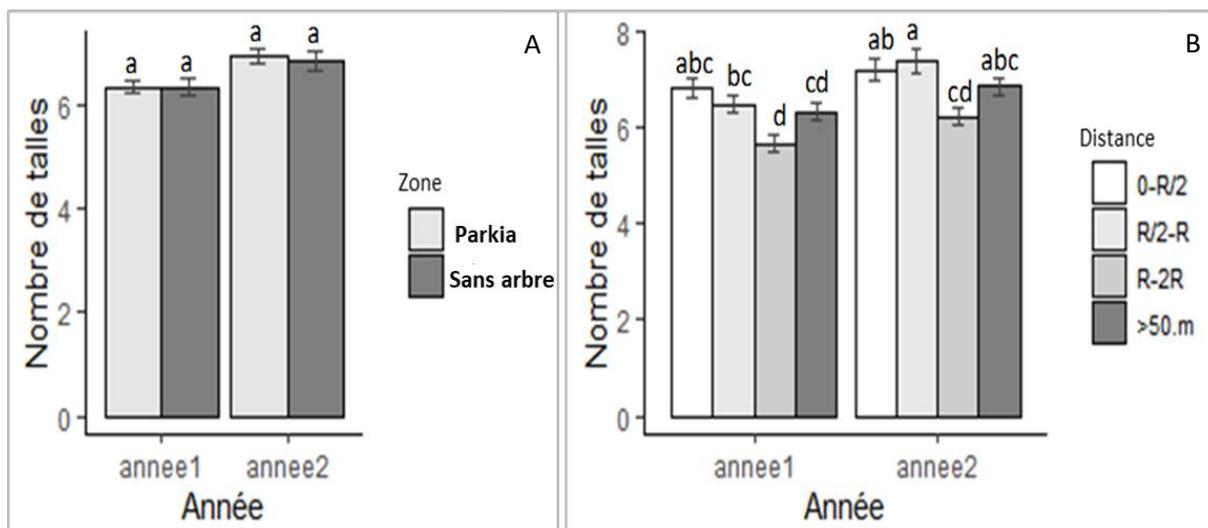


Figure 39 : Variation du nombre de talles en fonction des années selon la zone (A) et la distance (B)

Tous les traitements avec apport d'amendement ont eu un nombre moyen de talles significativement plus élevé ($p < 0.001$) que les témoins quelles que soient l'année, la zone ou la distance par rapport au pied de l'arbre (figures 40 A & B, 41). Les traitements B+C(100) et compost ont produit le nombre moyen de talles significativement le plus élevé comparé au reste des amendements.

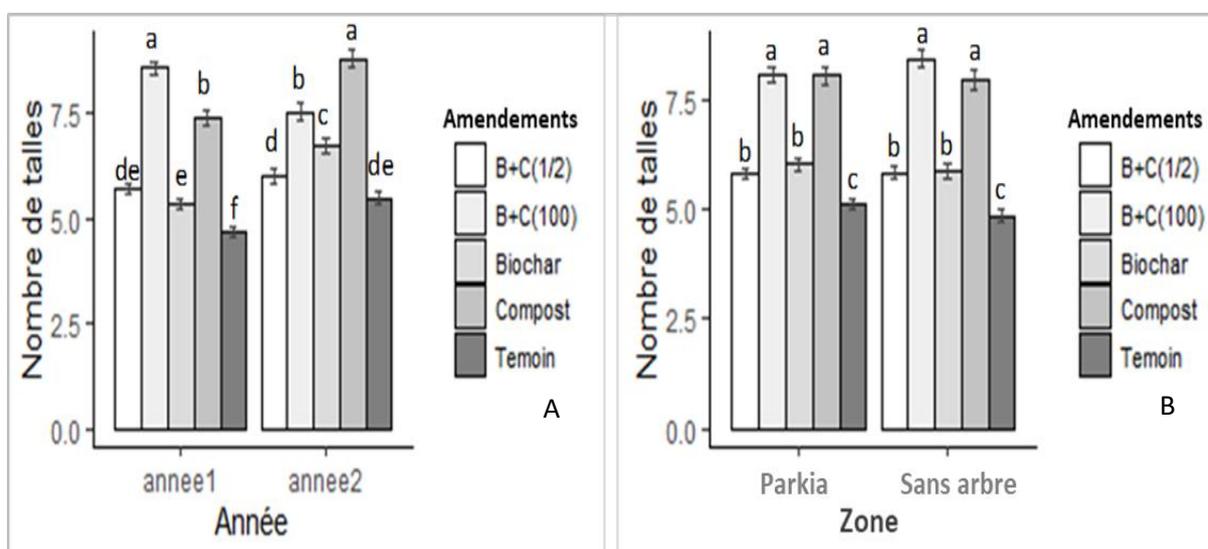


Figure 40 : Variation du nombre de talles en fonction de l'année (A) et de la zone (B) selon les amendements

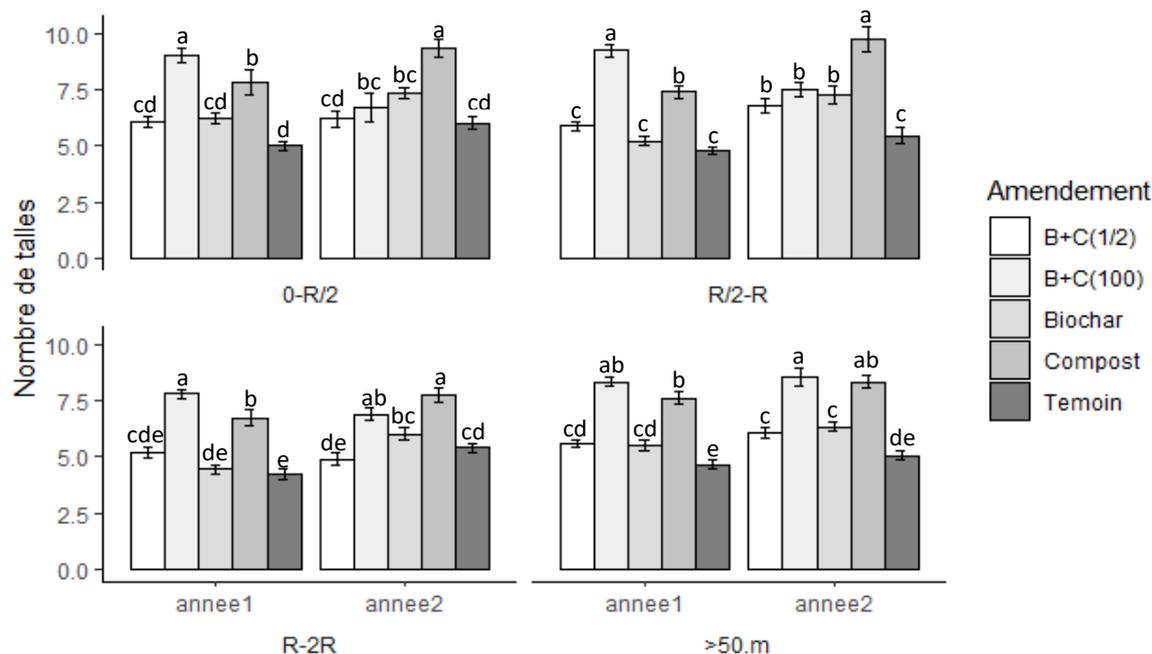


Figure 41 : Variation du nombre de talles en fonction de l'année et de la distance suivant les amendements

4.3.2.3. Taux d'infertilité

• Talles infertiles

Le nombre de talles infertiles en fonction de la zone ou de la distance par rapport au pied de l'arbre, n'a pas varié en année 1 ($Pr = 0,107$) (tableau 13). Par contre, en A2, le taux d'infertilité a été significativement plus élevé ($Pr < 0,05$) dans les parcelles sous influence de *Parkia* (33,6%) contre (29%) dans les parcelles sans arbre. Sous influence de *Parkia*, le taux d'infertilité le plus élevé a été noté pour la distance R-2R avec 36% en A2.

Dans les parcelles amendées, le taux d'infertilité est significativement plus bas par rapport au témoin, non-amendé ($Pr < 2e-16$). Le taux d'infertilité a été de 26,3% et 27,5% respectivement pour les traitements B+C(100) et le compost contre 40,4% pour le témoin en A1. En Année 2, le nombre de talles infertiles a été significativement ($p < 0,001$) le plus élevé qu'avec le traitement B+C(100).

• Grains infertiles

Il n'y a pas eu de variation significative du nombre de grains infertiles en fonction de la zone ou de la distance par rapport au pied de l'arbre en année 1 ($Pr = 0,08$) (tableau 14). En année 2, le taux de grains infertiles a été significativement moins élevé ($p < 0,0001$) dans les parcelles sous influence de *Parkia* avec 14,5%, 15% et 16% respectivement pour les parcelles situées à 0-R/2, R/2-R, R-2R contre 20,1% pour les parcelles situées dans la zone sans arbre.

Les taux de grains infertiles ont été significativement les moins bas avec les traitements B+C(100) et compost en A1 respectivement 10,8% et 10,1% ; et le traitement compost en A2 (14,1%). Par contre, les traitements B+C(100) et B+C(1/2) ont eu les taux de grains infertiles les plus élevés significativement ($p < 0,001$) comparé au compost en A2, respectivement 18,2% et 18,9%.

Tableau 14 : Variation du taux d'infertilité de talles et des grains en fonction de la zone, de la distance par rapport au pied de *Parkia* et des amendements au cours des années d'étude.

	% Talles infertiles		% Grains infertiles	
	année 1	année 2	année 1	année 2
Zone				
Parkia	33,9 a*	29,0 b	14,6 a	20,1 a
Sans arbre	32,3 a	33,6 a	13,6 a	15,2 b
<i>Probabilité</i>	0,107	0,00285	0,088	4,87e-06
Distance				
>50 m	33,9 a	29,0 b	14,6 a	20,1 a
0-R/2	33,5 a	34,4 a	13,6 a	14,5 b
R/2-R	32,3 a	30,5 b	13,7 a	15,0 b
R-2R	30,9 a	36,0 a	13,5 a	16,0 b
<i>Probabilité</i>	0,0729	0,000768	0,398	5,32e-05
Amendement				
Témoin	40,4 a	35,8 a	21,9 a	17,2 ab
Biochar	36,5 b	33,8 a	13,4 b	15,3 ab
BC1/2	32,6 c	33,4 a	12,9 b	18,9 a
Compost	27,5 d	31,9 a	10,1 c	14,1 b
BC100	26,3 d	24,8 b	10,8 c	18,2 a
<i>Probabilité</i>	<2e-16	2,9e-05	<2e-16	0,00436

*Les valeurs sur une même colonne présentant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes (Student-Newman-Keuls (SNK), seuil 5%).

4.3.2.4. Rendement

Le rendement n'a pas varié entre la zone sous influence de *Parkia biglobosa* et la zone sans arbre, au cours des deux années d'étude (Figure 42). Il y a eu cependant une variation significative du rendement entre les distances par rapport au pied de l'arbre ($Pr = 0,047$) avec un rendement plus élevé pour la distance R/2-R (3,7 t.ha⁻¹) et un rendement plus faible enregistré à R-2R (2,8 t.ha⁻¹) en A2.

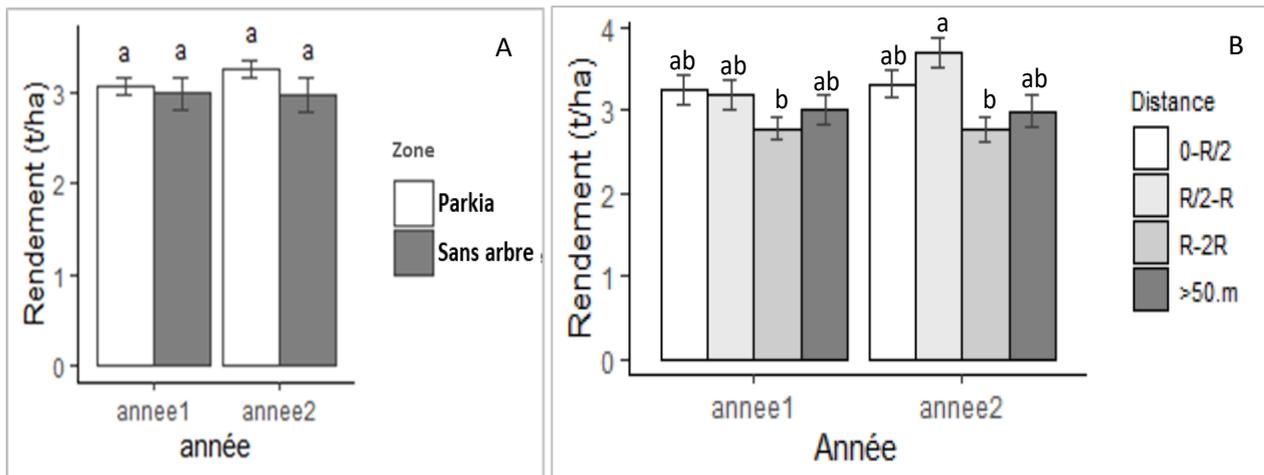


Figure 42 : Variation du rendement en fonction des années selon la zone (A) et la distance (B)

Il y a eu également une variation significative ($Pr < 2e-16$) du rendement en fonction des amendements apportés au cours des deux années d'étude (figures 43A & B). Ainsi, les rendements les plus importants ont été obtenus avec les traitements B+C(100) et le compost respectivement ($5,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) et ($4,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) en année 1 et ($3,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) et ($4,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) en année 2, quelle que soit la zone, *Parkia* ou sans arbre. Tous les amendements apportés, à l'exception de l'amendement B+C(1/2) ont donné des rendements significativement supérieurs ($p < 0.0001$) au témoin peu importe la distance du pied de l'arbre (figures 43 & 44).

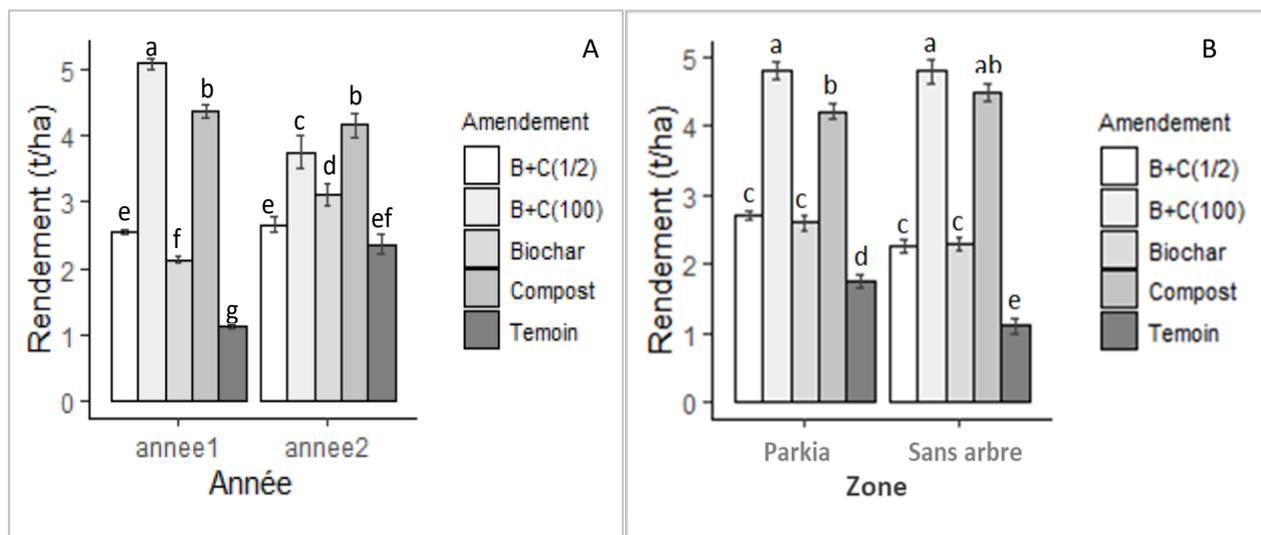


Figure 43 : Variation du rendement en fonction de l'année (A) et de la zone (B) selon les amendements

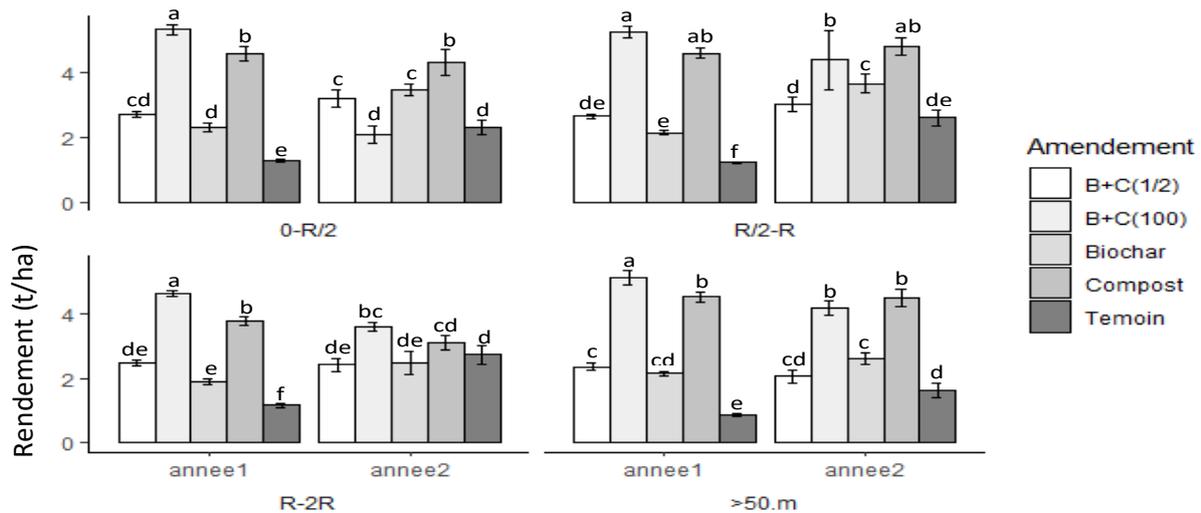


Figure 44 : variation du rendement en fonction de l'année et de la distance suivant les amendements

4.3.3. Relation entre les éléments chimiques du sol et les paramètres du riz

4.3.3.1. Les caractéristiques du sol et les paramètres de croissance du riz

Les coefficients de corrélation de Pearson indiquent une forte corrélation (plus de 99%) entre la MO et la disponibilité en C et N (figure 45). La MO avec le C et l'N sont également corrélés aux bases échangeables, Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ (entre 69% et 79%) à l'exception du Na^+ dont les pourcentages de corrélation avec la MO, C, N ont été respectivement de 43%, 43% et 46%. Il faudrait noter le manque de corrélation de la CEC avec l'ensemble des éléments chimiques analysés, mais aussi avec les paramètres de croissance (hauteur et tallage). La hauteur des plants a été favorablement corrélée aux bases échangeables du sol (Ca^{2+} , Mg^{2+} , N^+ et K^+) et au pH. Seul le pH et le sodium ont été corrélés à plus de 50% avec le tallage.



Figure 45 : Corrélation des caractéristiques du sol et des paramètres agromorphologiques du riz

4.3.3.2. Corrélation des caractéristiques du sol et du rendement du riz

La matière organique, le carbone, l'azote et le sodium sont corrélés significativement ($P < 0,05$) au rendement du riz avec respectivement 61%, 61%, 57% et 54% (figure 46). La corrélation du rendement du riz avec les bases échangeables notamment le calcium, le magnésium et le potassium, n'a pas été significative ($P > 0,05$).

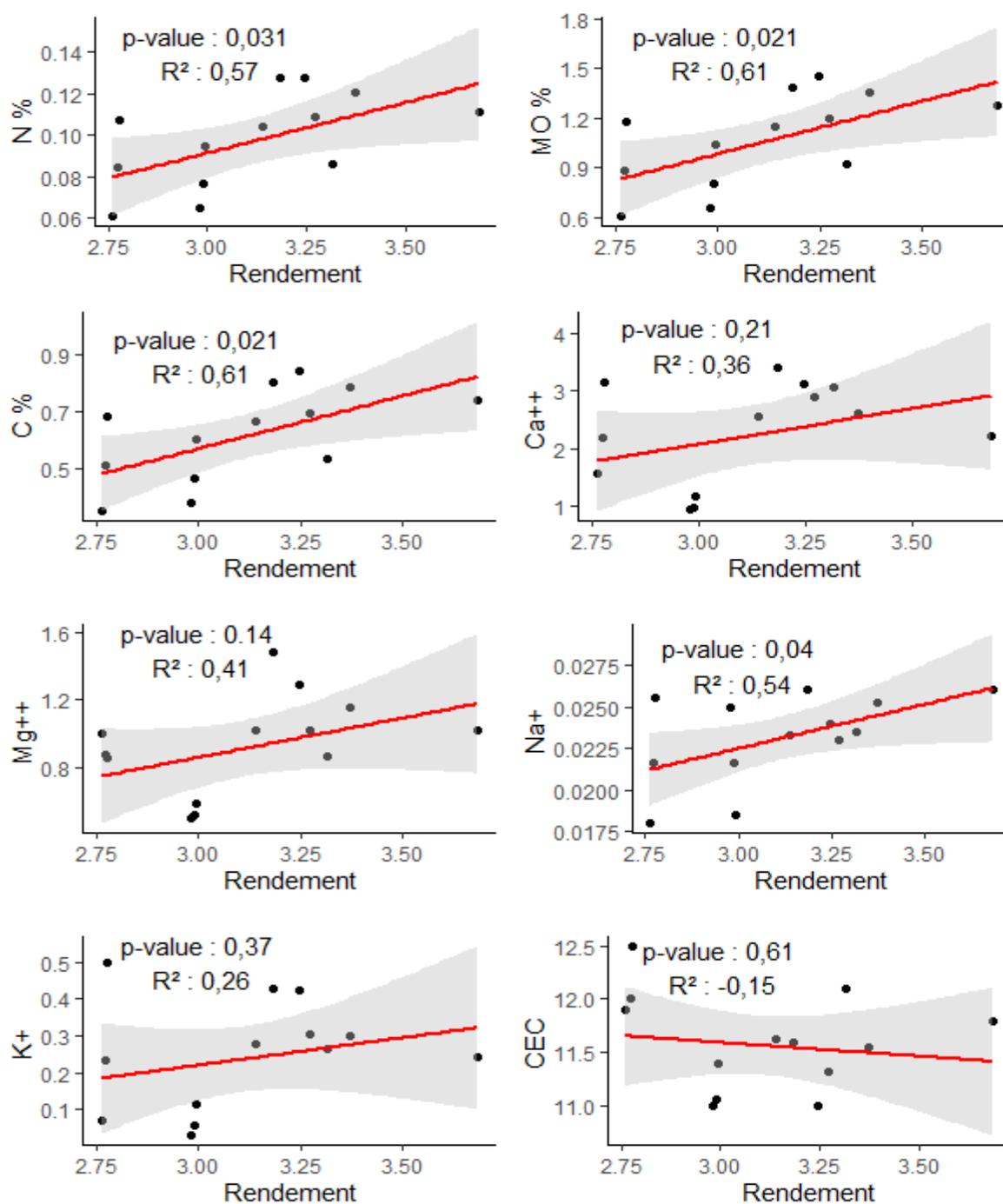


Figure 46 : les relations entre les éléments chimiques du sol et le rendement

4.3.4. Relation entre les variables et les facteurs étudiés

Les pourcentages d'information expliqués par le premier et le second axe sont respectivement de 40,4% et 18,6%. Ainsi, les deux axes expliquent 59% de l'information sur les relations entre les variables et les facteurs étudiés (figure 47 et figure 48).

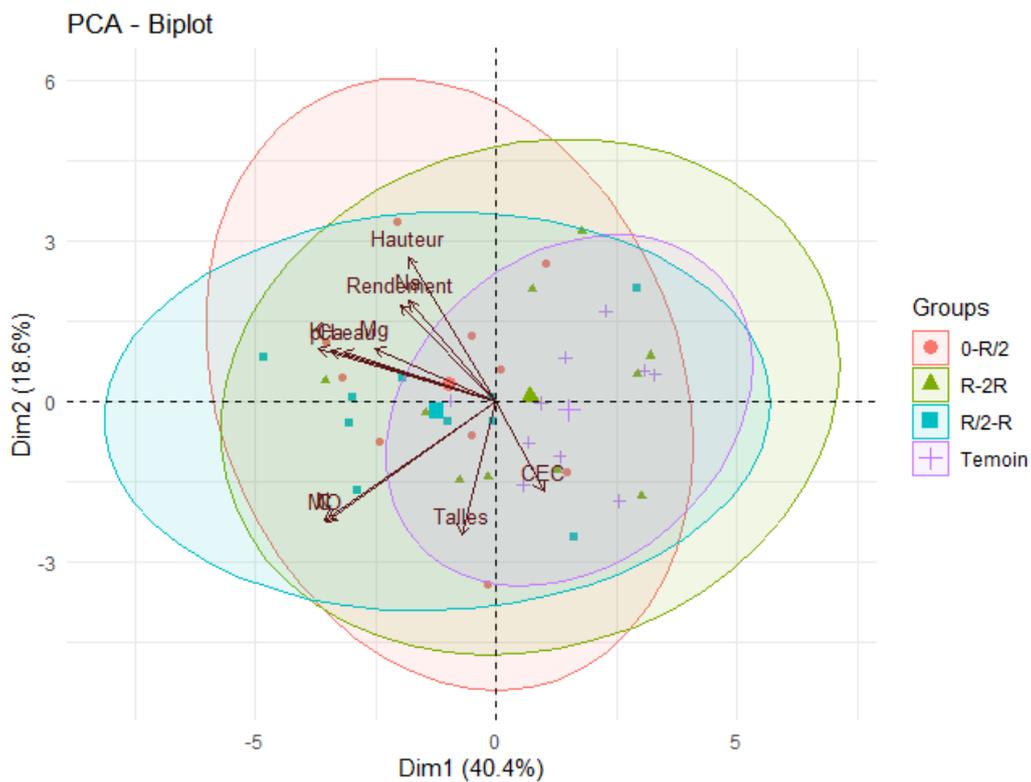


Figure 47 : Analyse discriminante linéaire (ADL) sur l'ACP des paramètres et des individus en fonction des distances

Au niveau de la figure 47, les paramètres sont représentés en fonction de la distance par rapport au pied de l'arbre. Les valeurs de CEC et de tallage sont élevées pour le témoin dont les données sont collectées à une distance de 50 m de tout arbre ; l'ellipse du témoin n'englobant que la CEC et le tallage. Les caractéristiques du sol (MO, C, N Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+), la hauteur et le rendement du riz ont eu des valeurs plus élevées avec les distances 0-R/2 et R/2-R qui sont représentées par des cercles en forme d'ellipses (40%). Le groupe R-2R qui se rapproche plus d'un cercle à une ellipse (20%) montre qu'il a des valeurs moindres sur l'ensemble des paramètres (figure 47).

Au niveau de la figure 48, la capacité d'échange cationique (CEC) et le tallage situé du côté de l'abscisse négative (Dim2) sont corrélés à 70% au témoin non amendé. Toutes les variables, sauf la CEC et le tallage sont corrélées à 60% au traitement B+C(100). Le traitement B+C(100) a favorisé la disponibilité des éléments du sol, mais également la croissance et le rendement du riz. Le traitement au biochar ayant englobé dans son ellipse (60%) l'essentiel des caractéristiques chimiques du sol, indique que son apport a été favorable pour leur disponibilité. En revanche, les traitements au compost et au B+C(1/2), avec leurs ellipses qui commencent à retrouver la forme d'un cercle, ont une influence moindre sur l'essentiel des paramètres du sol et du riz (figure 48).

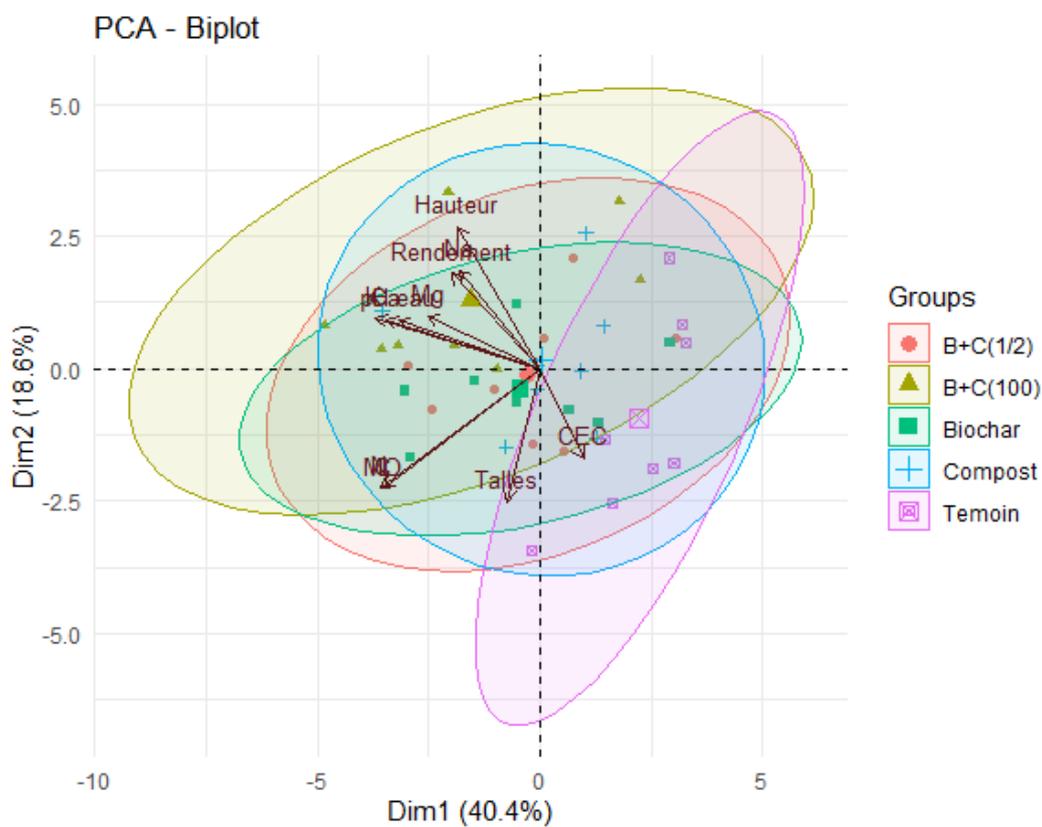


Figure 48 : Analyse discriminante linéaire (ADL) sur la projection des paramètres du sol et du riz en fonction des amendements

4.4. Discussion

Cette étude a permis de comprendre l'influence de *Parkia biglobosa* et de deux amendements organiques : compost et biochar sur les caractéristiques du sol, la croissance et le rendement du riz. Il est admis que le couvert de *Parkia biglobosa* occasionne une réduction du

rayonnement solaire sous sa canopée. Ce qui peut, avec la chute de sa litière, influencer de nombreux aspects, notamment les caractéristiques physico-chimiques du sol, mais aussi la hauteur, le tallage et les composantes du rendement des cultures associées.

La présence de *Parkia biglobosa* a-t-elle eu un effet sur les caractéristiques physico-chimiques du sol, la croissance et le rendement du riz ?

Nos résultats ont montré une différence de texture entre le sol sous influence de *Parkia* avec une texture limono-sableuse et le sol de clairière présentant une texture limoneuse. La texture limoneuse de la zone sans arbre pourrait s'expliquer par l'existence d'une légère dépression au niveau de cette zone engendrant ainsi une accumulation plus importante de limon avec les eaux de pluie.

Dans notre étude, le sol sous le houppier de *Parkia* présente des taux de matière organique, de carbone et d'azote beaucoup plus élevés que le sol de la zone hors houppier ou sans arbre. Les parcelles situées hors couvert de *Parkia* sont caractéristiques des vallées en Casamance et présentent une teneur faible en matière organique et en azote, (Sane et al., 2018 ; DasyIva et al., 2019). La différence de la teneur en matière organique pourrait être due à l'accumulation de la litière sous la canopée de *Parkia* qui, subit une décomposition, libère des nutriments et améliore ainsi la fertilité des sols (Matig, 2002; Claudette et al., 2019). Également, la litière de *Parkia* qui se trouve mélangée au sol limono-sableux pourrait expliquer les taux plus élevés de bases échangeables notamment le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}) et le potassium (K^+) obtenus sous les arbres comparés à la zone sans arbre. En effet, la matière organique se lie aux argiles pour former le complexe argilo-humique, complexe assurant les échanges d'éléments nutritifs. Des résultats similaires ont été observés par plusieurs auteurs qui ont montré que le type de sol et la matière organique seraient à l'origine de conditions aboutissant à la disponibilité des éléments nutritifs (Dai et al., 2021; Dong et al., 2019). De plus, l'incorporation de la matière organique dans le sol, fait baisser la densité du sol, participe à la formation des agrégats, et augmente ainsi, le taux d'infiltration et de rétention d'eau dans le sol, (Barzegar et al., 2002; Khaldi, 2021).

Nos résultats ont montré que les hauteurs des plants de riz sous couvert de l'arbre ont globalement été les plus importantes comparées à celles de la zone sans arbre quelle que soit l'année d'étude. De même, les plus grandes hauteurs ont été observées avec les distances les plus proches du pied de l'arbre. Pouliot et al. (2012) avaient observé des résultats similaires avec des hauteurs beaucoup plus importantes sous l'ombrage de *Parkia biglobosa*. Wu et al.

(2017), ont obtenu les plus grandes hauteurs du riz sous incidence de lumière réduite à 60% comparées à une lumière normale.

Dans notre étude, nous n'avons pas eu de différence de tallage et de rendement entre la zone sous influence de l'arbre et celle sans arbre. Nous n'avons pas observé d'augmentation de rendement en présence de *Parkia* ; nous n'avons pas, non plus, observé d'effet négatif sur le rendement. Nos résultats sont similaires à ceux de Jonsson (1998) qui avait montré que la présence de l'arbre pouvait ne pas avoir d'effet négatif sur les cultures associées.

Cependant, nos résultats ont montré que dans la zone sous influence de l'arbre, les rendements ont été significativement plus importants sous le houppier de *Parkia*. Cette différence pourrait être expliquée par les conditions édapho-climatiques qui prévalent sous la canopée de cette espèce. En effet, la canopée de *Parkia* apporte de l'ombre qui contribue à baisser la température sous l'arbre et à maintenir une certaine humidité par rapport à la surface découverte (Sanou et al., 2010 ; Buba, 2015a ; Alo et Aweto, 2018). Ce microclimat créé sous l'arbre augmente sensiblement la décomposition de la litière accumulée sous l'arbre et contribue ainsi à améliorer la fertilité des sols. Dès lors, grâce à la disponibilité des nutriments, la croissance des plants est stimulée, il s'ensuit une augmentation du rendement des cultures (Sanou et al., 2010 ; Buba, 2015a ; Alo et Aweto, 2018). Et c'est dans ce sens que Jonsson et al., (1999) avaient soutenu que "les effets engendrés par la présence de *Parkia* sur la température et la fertilité du sol peuvent supplanter les effets négatifs de l'ombrage des arbres".

Les apports d'amendements organiques en présence de *Parkia biglobosa* ont-ils eu un effet sur le sol, la croissance et le rendement du riz ?

Dans notre étude, les apports d'amendements organiques (biochar et compost) ont contribué à une augmentation de la MO, du C et de l'N. Nos résultats ont également montré que l'apport de ces amendements a eu des effets positifs sur les paramètres agro-morphologiques de croissance et de rendement du riz par rapport au témoin quels que soient le site, l'année ou la distance par rapport au pied de l'arbre.

L'ajout du compost améliore la structure du sol, la capacité de rétention d'eau du sol, la CEC ; il augmente par ailleurs, les nutriments disponibles pour les microorganismes et les plantes (Mathew et al., 2011; Koull et Halilat, 2016). Quant au biochar, sa constitution poreuse permet d'augmenter la potentialité de rétention d'eau, de favoriser la disponibilité des nutriments pour les plantes et les microorganismes, mais aussi de réduire les pertes de nutriments par lessivage (Rees, 2014; Laurin-Lanctôt, 2015; Goudiaby et al., 2020).

Nos résultats sont conformes aux travaux de Ngnikam et *al.*, (1993) ; Ouattara et *al.*, (2006); Diatta et *al.*, (2019), qui ont montré que l'apport du compost permettrait d'accroître les rendements des cultures. Nos résultats confirment également ceux de Graber et *al.*, (2010); Harel et *al.*, (2012) ; Diatta et *al.*, (2023) qui ont montré un effet bénéfique de l'amendement au biochar sur la croissance et le rendement des cultures. En deuxième année d'expérimentation, les apports de biochar et du mélange biochar et compost à une dose de 100% ont été les plus performants par rapport au reste des amendements. Les travaux de Frimpong et *al.*, (2021) avaient montré l'effet stimulateur de l'application à long terme du biochar sur le rendement des cultures sur un sol limoneux. Plus spécifiquement, les performances observées sur le riz suite à l'apport du compost et du biochar sont cohérentes avec de nombreuses études menées en Casamance (Diatta et *al.*, 2019 ; Sagna et *al.*, 2019).

4.5. Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence l'effet positif de la présence de *Parkia* sur les caractéristiques du sol, sur la croissance et le rendement du riz. La hauteur des plants de riz a été significativement ($p < 0.001$) plus élevée près de la base de l'arbre (117 cm). Le rendement du riz a été significativement ($p < 0.001$) plus important dans les parcelles situées sous le houppier à la distance R/2-R (3,7 t.ha⁻¹). Tous les amendements apportés (compost et biochar) ont augmenté le rendement de plus 53% vis-à-vis du témoin non amendé en présence de *Parkia* ou en absence d'arbre. De même, les taux de matière organique, de carbone et d'azote ainsi que l'essentiel des bases échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺) ont été plus importants au niveau des parcelles situées sous *Parkia biglobosa* (0-R/2 et R/2-R). Les apports de biochar, de compost, de B+C(100) et de B+C(1/2) ont augmenté significativement ($p < 0.05$) les taux de MO, de C, d'N et de bases échangeables par rapport au témoin après la première année d'expérimentation. Par contre, à la deuxième année d'expérimentation, l'arrière-effet du biochar a été le plus performant sur la MO, le C, l'N et le Ca²⁺. Ces aspects suggèrent que la présence de l'arbre *Parkia biglobosa* dans les parcelles de riz n'est pas un facteur limitant pour une bonne croissance et un rendement du riz. En présence de *Parkia*, les apports de compost et de biochar, ont amélioré substantiellement la fertilité des sols et par conséquent le rendement du riz.

CHAPITRE 5 : DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION GENERALE

5.1. Discussion générale

5.1.1. Introduction

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés d'abord à la caractérisation de la végétation ligneuse dans les parcs à *Parkia biglobosa*, ensuite, nous avons étudié la décomposition de la litière de *Parkia* et enfin, nous avons déterminé l'influence de *Parkia biglobosa* et des apports d'amendements organiques sur le sol et le rendement du riz. Il s'agissait spécifiquement, de déterminer les effets de l'arbre (litière, terreau et houppier) et de la matière organique (compost et biochar) sur le rendement de la culture et la qualité des sols dans les systèmes rizicoles. Pour ce faire, différentes études ont été menées en station et en plein champ. Les études en station ont été conduites dans la ferme expérimentale du département d'agroforesterie de l'Université Assane Seck de Ziguinchor, localisée en Basse Casamance. Le parc à *Parkia biglobosa*, support des études en plein champ, est situé dans la zone du Bayotte-Est, dans la commune de Nyassia en Basse Casamance. La démarche méthodologique a fait appel à des approches relevant des sciences forestières, agronomiques, agroforestières et pédologiques.

La caractérisation des parcs à *Parkia biglobosa* en zone rizicole a permis une meilleure connaissance de la composition et de la diversité floristique, ainsi que la structure desdits parcs de la zone d'étude. Cette caractérisation a été effectuée à travers un inventaire des ligneux par la méthode d'échantillonnage systématique. Ce dispositif systématique est en effet plus simple à mettre en œuvre sur le terrain qu'un échantillonnage aléatoire de même importance. Il apparaît nécessaire d'insister aussi de sa plus grande sécurité sur le plan opérationnel. Un dernier avantage important de ce système systématique est que les informations fournies sur la population cataloguée sont régulièrement réparties. Le principal inconvénient des dispositifs systématiques est qu'il est impossible d'obtenir une estimation de la variance de la moyenne de l'échantillon. Les statisticiens ont utilisé des méthodes d'estimation approximatives au cas par cas. (Giudicelli et al., 1972).

Le suivi des paramètres agronomiques en station a permis d'évaluer l'effet de la litière de *Parkia biglobosa* sur la culture du riz. Ce suivi s'est fait à l'aide d'installation de dispositifs en blocs aléatoires complets. C'est une méthode pertinente en vue de constituer des groupes d'unités expérimentales aussi semblables que possible les unes aux autres, de manière à réduire, au sein des blocs, l'hétérogénéité des conditions expérimentales (Dagnelie, 2003).

En plein champ, le suivi de la croissance et du rendement du riz d'une part, et d'autre part, des paramètres physico-chimiques des sols suivant la distance par rapport au pied de l'arbre, a permis d'évaluer l'influence du couvert de *Parkia biglobosa* sur la culture et sur ces sols. Le principe des blocs aléatoires complets, qui est particulièrement facile à exposer dans le cas des expériences en champ comme décrit par Dagnelie (2003) a été adopté pour réaliser ce suivi. Ainsi, pour Dagnelie (2003) les blocs peuvent être représentés par des arbres, pour chacun desquels les unités expérimentales sont des parcelles installées suivant le houppier de ces arbres dans le cas de cette étude.

L'utilisation du compost et du biochar comme stratégie paysanne de valorisation de déchets agricoles, apporte une valeur ajoutée afin d'améliorer l'efficacité du système agroforestier *Parkia biglobosa* - riz.

Cette partie sera consacrée à la discussion des principaux résultats acquis dans le but de dégager des éléments utiles pour une meilleure gestion de la fertilité des sols à travers l'intégration de *Parkia biglobosa* dans les vallées rizicoles en Basse Casamance.

5.1.2. Caractéristique de la végétation ligneuse dans les parcs à *Parkia biglobosa* en zone rizicole

La surexploitation des arbres d'intérêt a pour conséquence de limiter les atouts que ces espèces apportent aux populations rurales, mais surtout d'entraîner la fragilité et la perte de fertilité progressive des sols agricoles en Basse Casamance avec comme finalité une réduction des rendements des cultures en particulier du riz (Diatta et al. 2020; Solly et al., 2020 ; Ba et Descroix 2022; Diémé et al., 2022). Pour asseoir une bonne stratégie agroforestière d'amélioration du rendement, une réactualisation de la typologie et des structures des parcs agroforestiers est nécessaire. Les résultats obtenus à l'issue de l'inventaire ont permis de constater l'existence de parcs mixtes à *Parkia biglobosa* et à *Elaeis guineensis*. Notre étude a mis en évidence une diversité globalement faible sur les deux sites qui pourrait être due aux systèmes traditionnels d'occupation des sols en Casamance, où seuls les arbres d'intérêt sont conservés (Dresch, 1949 ; Wala et al., 2005). *Parkia biglobosa* et *Elaeis guineensis* sont, en effet, non seulement les espèces les plus communes, mais aussi les plus abondantes et dominantes, et donc celles que les producteurs conservaient intentionnellement. La fréquence et la dominance de *Parkia* dans ces zones pourraient fournir aux cultures associées, grâce à leur litière, de la matière organique, bénéfique pour les microorganismes et pour la restauration des sols (Uyovbisere et Elemo, 2002; Buba et Muhammad, 2020).

Cependant, dans notre étude, aussi bien dans les bas-fonds et que sur le plateau, *Parkia biglobosa* a eu le taux de couverture le plus important. La couronne de *Parkia biglobosa*

pourrait de ce fait constituer un obstacle pour la production des cultures vivrières, notamment le riz (Bayala et al., 2002 ; Ahmed et al., 2011 ; Pouliot et al., 2012). Nous constatons dès lors un effet mitigé de la présence de *Parkia* dans le système agroforestier rizicole à travers un apport en litière et un ombrage sur le rendement des cultures.

Il devient de ce fait important d'étudier l'effet de l'apport de la litière ou du terreau de *Parkia* mais également l'effet de la présence de *Parkia* sur le rendement du riz.

5.1.3. La litière de *Parkia biglobosa* améliore-t-elle la croissance et le rendement du riz ?

Selon la documentation relative à l'effet de *Parkia biglobosa* sur les cultures, la présence de l'espèce aurait un effet bénéfique pour certains auteurs, mais délétère pour d'autres (Jonsson, 1998 ; Sanou et al., 2012). Dans nos travaux, nous avons d'abord étudié la décomposition de la litière et par la suite, nous avons recherché l'effet de différentes doses de litière sur la culture du riz en station. Nos résultats ont permis de montrer que la litière de gousses se décompose plus rapidement suivie de la litière de tige (rachis) et de foliole. La litière de *Parkia biglobosa*, susceptible de modifier la composition physico-chimique du sol, a sensiblement affecté la germination des plants de riz, qui a été essentiellement plus élevée pour les petites doses de litière et le témoin. Les fortes doses de litière de *Parkia biglobosa* ont eu des effets négatifs sur le taux de germination du riz. Des résultats similaires ont été obtenus par Bayala et al., (2003) et Sourabie et al., (2020). Ces auteurs ont montré, l'effet plus ou moins inhibiteur de la paille de gousses et de feuilles sur la germination et la croissance de certaines cultures et sur les mauvaises herbes. L'effet inhibiteur des gousses sur la germination du riz, pourrait également être expliqué par le fait que, le riz germe plus facilement dans des sols légers avec peu ou pas de matière organique. En effet, plusieurs auteurs ont montré que les graines de riz germent plus rapidement dans des sols contenant peu ou pas de matière organique (Valdés-Rodríguez et al., 2013 ; Koutouan et al., 2017).

Contrairement à la germination, les doses de litière testées ont influencé de manière positive les paramètres de croissance et de rendement du riz. Cela pourrait s'expliquer non seulement par la quantité de litière fournie, mais aussi par sa décomposition qui libère des éléments minéraux disponibles pour les jeunes plants de riz. En effet, plusieurs auteurs ont montré que la décomposition de la litière de *Parkia biglobosa* est très rapide avec une forte libération de nutriments, stimulatrice sur le développement des cultures (C, N, P, Ca) (Uyovbisere et Elemo, 2002; Bayala et al., 2005 ; Buba, 2015a; Aboyeji et al., 2019).

Notre travail a ainsi permis de montrer l'effet inhibiteur de la litière de *Parkia* à forte dose sur la germination, mais stimulatrice sur la croissance et le rendement du riz. Dès lors, le maintien de *Parkia* dans les systèmes agroforestiers pourrait-il être bénéfique pour le rendement du riz ?

5.1.4. La présence de *Parkia biglobosa* est-elle bénéfique sur le sol, la croissance et le rendement du riz ?

Présentant la couronne la plus importante parmi les espèces inventoriées dans notre étude, *Parkia biglobosa* serait susceptible de constituer un obstacle pour la production du riz. En effet, selon certains auteurs, *Parkia biglobosa* en association avec des cultures, aurait un effet négatif sur leur rendement ; cet effet s'accroît à mesure que l'on se rapproche du pied de l'arbre (Kessler, 1992 ; Ahmed et al., 2011 ; Pouliot et al., 2012 ; Sanou et al., 2012). D'autres par contre ont révélé des résultats différents, avec une influence positive sur les cultures associées (Jonsson, 1998).

Nos résultats ont montré que les teneurs en matière organique et en éléments minéraux des sols ont été plus élevées pour les parcelles situées sous le houppier de *Parkia*. De même, la croissance et le rendement du riz ont été plus élevés au niveau des parcelles situées sous le houppier de l'arbre. Nos résultats pourraient s'expliquer par les conditions édapho-microclimatiques existantes sous la canopée de cette espèce. En raison de la forme de la canopée qui crée de l'ombre et contribue à abaisser les températures, le sol sous l'arbre présenterait une humidité plus élevée (Alo et Aweto, 2018). De plus, vu la nature de l'espèce *Parkia biglobosa*, qui est une légumineuse, donc produit une litière riche en azote et d'autres nutriments, le sol sous l'arbre aurait également une fertilité substantiellement améliorée (Sanou et al., 2010 ; Buba, 2015a).

Au vu de nos résultats portant sur l'influence de la présence et de la litière de *Parkia biglobosa* sur le rendement du riz ainsi que sur l'amélioration des caractéristiques du sol, il est évident que l'intégration de l'espèce dans le système rizicole ne pourrait être une contrainte. Cependant, la quantité de litière de *Parkia* en plein champ n'est pas assez conséquente pour une augmentation de la matière organique du sol pouvant aboutir à une amélioration durable de la fertilité des sols (Claudette et al., 2019). De plus, la décomposition rapide de la litière de *Parkia* ne permet pas une bonne formation des agrégats du sol. Il pourrait dès lors être intéressant de combiner la présence de *Parkia* dans les systèmes agroforestiers avec un apport externe d'amendement organique et d'étudier leurs effets sur le rendement du riz.

5.1.5. Les amendements organiques améliorent-ils les caractéristiques du sol, la croissance et le rendement du riz ?

Dans notre étude, les apports d'amendements organiques, biochar, compost, ou le mélange biochar-compost, ont amélioré la croissance et le rendement du riz par rapport au témoin, indépendamment de la présence de *Parkia biglobosa* durant les deux années d'étude. Pareillement, ces amendements apportés, ont considérablement augmenté la matière organique et les éléments nutritifs du sol : carbone, azote, bases échangeables et pH par rapport au sol témoin non amendé. De plus, sous le houppier de *Parkia*, l'apport d'amendements organiques a amélioré la fertilité du sol et le rendement du riz par rapport à la zone hors couvert.

Nos résultats s'expliqueraient par la teneur importante en nutriments du compost, mais également par la capacité d'absorption de l'eau et d'adsorption des éléments minéraux du biochar. Ces éléments minéraux sont libérés graduellement au bénéfice de la plante et des microorganismes (Lehmann et al., 2011; Mathew et al., 2011; Lévesque, 2017). S'y ajoute, en deuxième année d'expérimentation, les apports de biochar et du mélange biochar et compost à une dose de 100% ont été les plus performants par rapport au reste des amendements.

Sous le houppier de *Parkia*, l'effet de l'apport d'amendements organiques, combiné à l'effet de la litière a permis une amélioration de la fertilité du sol et du rendement du riz. L'effet de l'apport d'amendements organiques a été plus significatif que l'effet de la présence de l'arbre sur la fertilité du sol et le rendement du riz.

Ainsi, à la lumière de tous nos résultats, l'espèce *Parkia biglobosa* présente dans les parcelles rizicoles ne saurait être un facteur limitant pour une bonne croissance du riz. Tout au contraire, associée avec le compost et le biochar, elle a contribué à améliorer substantiellement les caractéristiques du sol, la croissance et le rendement du riz.

5.2. Conclusion générale et perspectives

5.2.1. Conclusion générale

La production de riz, malgré son rôle essentiel dans la sécurité alimentaire des ménages ruraux en Basse Casamance, fait face à de nombreux défis parmi lesquels, la baisse de fertilité des sols, une des causes principales de la baisse de rendement. La présence de *Parkia biglobosa* a été suggérée dans cette étude pour améliorer la durabilité et la rentabilité de la riziculture. Cela a toutefois nécessité la conduite d'une série d'études portées sur la caractérisation des parcs et sur l'apport de *Parkia biglobosa* sur le rendement du riz. La caractérisation de la végétation ligneuse a permis de constater que les parcs à *Parkia biglobosa* en zone rizicole ont présenté une faible diversité et sont dominés par deux espèces notamment :

Parkia biglobosa et *Elaeis guineensis*. Cette dominance suggère une conservation intentionnelle de ces espèces par les producteurs. L'étude de la décomposition de la litière de *Parkia biglobosa* conduite en station a permis de mettre en évidence la décomposition plus rapide des gousses suivie de celle des tiges et des folioles. L'étude a également montré un effet délétère de la litière en décomposition sur la germination qui avait baissé avec des doses élevées de litière. Contrairement à la germination, toutes les quantités de litières testées ont favorisé une bonne croissance et un bon rendement du riz par rapport au témoin. Les caractéristiques du sol tels que la MO, le C, l'N, les bases échangeables et le pH, essentiels pour la croissance et le développement du riz ont été particulièrement plus importants dans les parcelles situées sous le houppier de *Parkia biglobosa* (0-R/2 et R/2-R). De même, les hauteurs des plants de riz et le rendement du riz ont augmenté à mesure que l'on se rapproche du pied des arbres.

Tous les amendements apportés à savoir : le biochar, le compost, le B+C(100) et le B+C(1/2) ont contribué à l'augmentation du taux de MO, du C, de l'N des bases échangeables ainsi que le pH par rapport au témoin non amendé après la première année. Concernant la deuxième année d'expérimentation, le biochar a été le plus performant par rapport au reste. Les apports d'amendements ont contribué à une augmentation significative du rendement du riz comparé au témoin non amendé en présence de *Parkia* ou dans la zone dénuée d'arbre.

A l'issue de tous nos travaux, nous avons pu mettre en évidence que dans les parcs à *Parkia biglobosa* en zone rizicole, l'espèce y est en codominance avec *Elaeis guineensis*. Par ailleurs, en zone rizicole, l'étude a également permis de montrer que la présence de *Parkia biglobosa* favorise une bonne croissance et un rendement du riz. L'utilisation de compost d'anacarde et de biochar considérés comme déchets, est une plus-value pour cette association *Parkia biglobosa*-riz pluvial.

5.2.2. Perspectives

Pour assurer une gestion efficiente du *Parkia biglobosa* dans les agrosystèmes de manière générale et permettre une meilleure complémentarité arbres-cultures, l'approfondissement de la connaissance du comportement de cette espèce à travers les thématiques suivantes pourrait être envisagé :

- la quantification de la litière de *Parkia biglobosa* en fonction de la taille du houppier et de la zone agroécologique ;
- l'influence à long terme de l'espèce sur la productivité de l'arachide et du riz particulièrement au niveau du plateau combiné aux amendements organiques : compost et biochar ;

- l'étude de la communauté microbienne associée à *Parkia biglobosa* dans différentes écologies (bas-fond et plateau) dans le but de leur utilisation optimale ;
- l'utilisation de résidus de l'arbre notamment, la coque des gousses dans l'amélioration de la fertilité des sols sulfatés acides.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aboyeji, C. M., Adekiya, A. O., Dunsin, O., Agbaje, G. O., Olugbemi, O., Okoh, H. O., & Olofintoye, T. A. J. (2019). Growth, yield and vitamin C content of radish (*Raphanus sativus* L.) as affected by green biomass of *Parkia biglobosa* and *Tithonia diversifolia*. *Agroforestry Systems*, 93(3), 803-812. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0174-6>
- Adegbola, Y. P., Ahoyo Adjovi, N. R., Allagbe, C. M., Houssou, P. F., Bankole, A.-B., Djidonou, S. J., Kogbeto, C. E., Koumassa Bonou, L., Oussou, B. C. T., Akakpo, C., Guedou, E. M. S., Hinnou, C. L., Pomalegni, S. C. B., Adjanohoun, A., Igue, A. M., & Mensah, G. A. (2014). *Analyse bibliographique critique des travaux effectués par domaine sur le riz et la riziculture au Bénin*, 69p.
- Agbahungba, G., & Depommier, D. (1989). *Aspects du parc a karites-neres (Vitellaria paradoxa Gaertn. F. Parkia biglobosa Jacq. Benth) dans le sud du Borgou (Benin)*, 14p.
- Ahmed, N. O., ers, R. bild, Joslash; rgen, L. C., & Jules, B. (2011). Performance of cowpea (*Vigna unguiculata*) and pearl millet (*Pennisetum glaucum*) intercropped under *Parkia biglobosa* in an agroforestry system in Burkina Faso. *African Journal of Agricultural Research*, 6(4), 882-891.
- Akpo, L.-É., & Grouzis, M. (2004). Interactions arbre/herbe en bioclimat semi-aride : Influence de la pâture. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 15(3), 253-261.
- Albergel, J., Lamachère, J.-M., Gadelle, F., Lidon, B., Mokadem, A. L., Ran, A. M., & Van Driel, W. F. (1993). *Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel; typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles. Rapport final d'un projet CORAF-R3S*. CIEH, 355p.
- Albrecht, R. (2007). *Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique* [PhD Thesis, Université de droit, d'économie et des sciences-Aix-Marseille III], 189p. <https://theses.hal.science/tel-00174775/>
- Alexandre, C., & Marouzé, C. (1994). *Identification et valorisation des ressources techniques locales : La filière néré au Sénégal. Synthèse du projet MRT*, 25p.
- Alo, E. A., & Aweto, A. O. (2018). The Properties of Soil Under the Canopy of the Locust Bean Tree (*Parkia biglobosa*), in Relation to Tree Biomass, in Farmland in Oyo Area, South Western Nigeria. *Journal of environment and aerth science*, 8(8), 38-46.
- Ameziane El Hassani, T., & Persoons, E. (1994). *Agronomie moderne—Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Édition Hatier-AUPELF. UREF*, 544p.
- ANSD. (2013). *Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage (RGPHAE)*. 345-372.
- APRAO. (2013). *Etat des lieux de la riziculture au Sénégal*. FAO, 10p.
- Audebert, A. (2006). Diagnostic du risque et approches de gestion de la toxicité ferreuse dans les bas-fonds rizicoles. In : Toxicité ferreuse dans les systèmes à base riz d'Afrique de l'Ouest. Audebert Alain (ed.), Narteh L.T. (ed.), Kiepe Paul (ed.), Millar D. (ed.), Beks B. (ed.). Cotonou : ADRAO [Centre du Riz pour l'Afrique], 6-17. ISBN 92-9113-301-9

- Ba, D. B., et Descroix, L. (2022).** « Analyse de Quelques Conséquences du Conflit de Casamance sur les Ressources Forestières dans le Département de Bignona (Sénégal) ». *Cadernos de Estudos Africanos*, n° 42 (mai). <https://doi.org/10.4000/cea.6713>.
- Bacci, M., & Diop, M. (2015).** Climat et changement climatique en Casamance. *Eaux et sociétés face au changement climatique dans le bassin de la Casamance: actes de l'atelier scientifique et du lancement de l'initiative" Casamance, un réseau scientifique au service du développement en Casamance" du 15-17 juin 2015 à l'hôtel Kadiandoumagne de Ziguinchor, Sénégal*, 61p.
- Badiane, A. (2022).** « Changement climatique et riziculture : savoirs et stratégies des paysans de Basse-Casamance pour une transition agroécologique. »
- Baoubacar, H., Douma, S., & Zoubeirou, A. M. (2021).** Typologie, caractéristiques structurales et dynamiques des faciès à *Leptadenia hastata* au Niger. *Afrique SCIENCE*, 19(3), 78-91.
- Barry, B., Sakho, P. Benga A. G. F., et Goudiaby A. O. K. (2019).** « Dynamique temporelle des feux de brousse en moyenne Casamance septentrionale (Sénégal) ». *J. Appl. Sci. Envir. Stud.* 2(4) (2019) 208-221
- Barzegar, A. R., Yousefi, A., & Daryashenas, A. (2002).** The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil*, 247(2), 295-301. <https://doi.org/10.1023/A:1021561628045>
- Bayala, J., Mando, A., Ouedraogo, S. J., & Teklehaimanot, Z. (2003).** Managing *Parkia biglobosa* and *Vitellaria paradoxa* Prunings for Crop Production and Improved Soil Properties in the Sub-Sudanian Zone of Burkina Faso. *Arid Land Research and Management*, 17(3), 283-296. <https://doi.org/10.1080/15324980301596>
- Bayala, J., Mando, A., Teklehaimanot, Z., & Ouedraogo, S. J. (2005).** Nutrient release from decomposing leaf mulches of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) under semi-arid conditions in Burkina Faso, West Africa. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(3), 533-539. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.08.015>
- Bayala, J., Teklehaimanot, Z., & Ouedraogo, S. J. (2002).** Millet production under pruned tree crowns in a parkland system in Burkina Faso. *Agroforestry systems*, 54(3), 203-214.
- Baye-Niwah, C., Froumsia, M., Hamawa, Y., Souare, & 0 K., Todou, G., (2019).** Structure and regeneration of *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br Ex G Don in Mount Mandara, Cameroon. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 11(9), 241-251.
- Beaulaton, D., & Gutierrez, M.-L. (2002).** Histoire du parc à Néré (*Parkia biglobosa* Jacqu. Benth.) sur le plateau d'Abomey (Bénin) : De sa conservation pour la production et la commercialisation d'un condiment, l'afitin. *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*, 220, 453-474.
- Berhaut, J. (1971).** Flore illustrée du Sénégal. *Gouvernement du Sénégal, Ministère du développement rural, Direction des eaux et forêts, Dakar*.
- Berhaut, J. (1975).** *Flore illustrée du Sénégal : Ficoïdées à Légumineuses*. Gouv. du Sénégal, Ministère du Développement Rural, Dir. des Eaux et Forêt.
- Bezançon, G. (1993).** *Le riz cultivé d'origine africaine Oryza glaberrima Steud. et les formes sauvages et adventices apparentées : Diversité, relations génétiques et domestication* [PhD Thesis]. Paris 11, 232p.

- Bezançon, G. (1995).** Riziculture traditionnelle en Afrique de l'Ouest : Valorisation et conservation des ressources génétiques. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 37(2), 3-24.
- Bezançon, G., Causse, M., Ghesquiere, A., De Kochko, A., Pham, J.-L., & Second, G. (1989).** Les riz en Afrique : Diversité génétique, relations interspécifiques et évolution. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 136(3-4), 251-262.
- Boffa, J.-M. (1999).** *Agroforestry Parklands in Sub-Saharan Africa*. Food & Agriculture Org, 256p.
- Boffa, J.-M. (2000).** *Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne*. Food & Agriculture Org, 258p.
- Boukheris, T., Milti, A., & Sfaksi, Z. E. (2020).** *Comparaison entre charbon actif et biocharbon (Étude théorique)* [PhD Thesis, Université de Jijel], 86p. <http://dspace.univ-jijel.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5596/M-GP.ENV-2020-06.pdf?sequence=1>
- Brewbaker, J. L. (1989).** Nitrogen fixing trees for fodder and browse in Africa. *Alley farming in the humid and subhumid tropics: proceedings of an international workshop held at Ibadan, Nigeria, 10-14 Mar. 1986*. <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/19796/IDL-19796.pdf?sequence=1>
- Buba, T. (2015a).** Impacts of different tree species of different sizes on spatial distribution of herbaceous plants in the Nigerian Guinea savannah ecological zone. *Scientifica*, 21p.
- Buba, T. (2015b).** Spatial Variation of Soil Physicochemical Properties with Respect to Some Selected Tree Species in the Nigerian Northern Guinea Savannah. *International Journal of Plant & Soil Science*, 7(5), 273-283.
- Buba, T., & Muhammad, S. Y. (2020).** Combine Effects of Soil Nutrient Levels and Mycorrhiza Inoculums from Soils under Parkia Biglobosa and Tamarindus Indica on Chlorophyll Content of Some Cereal and Legume Crops. *Scientific African*, 8, e00369. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00369>
- Camara, B., Sagna, B., Ngom, D., Niokane, M., & Gomis, Z. D. (2017).** Importance socio-économique de *Elaeis guineensis* Jacq.(Palmier à huile) en Basse Casamance (SENEGAL), *European Scientific Journal (ESJ)*, 13(12), 214. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n12p214>.
- Charahabil, M. M., Cesar, B., Hamadou, B., Ndiaye, S., & Diatta, M. (2018).** Diversité et structure des espaces végétalisés urbains de la ville de Ziguinchor, Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(4), Article 4. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i4.12>
- Chaudhary, R. C., Nanda, J. S., & Van Tran, D. (2003).** Guide d'identification des contraintes de terrain à la production de riz. *Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome*, 79p.
- Chevalier, A. (1924).** Les Mimosées arborescentes pour l'ombrage des cultures tropicales. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 4(38), 673-683. <https://doi.org/10.3406/jatba.1924.4226>
- Chevalier, A. (1932).** Nouvelle Contribution à l'étude systématique des *Oryza*. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 12(136), 1014-1032.

- Chevalier, A. (1937).** Sur les Riz africains du groupe *Oryza glaberrima*. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 17(190), 413-418.
- Clark, C. J., Poulsen, J. R., Bolker, B. M., Connor, E. F., & Parker, V. T. (2005).** Comparative seed shadows of bird-, monkey-, and wind-dispersed trees. *Ecology*, 86(10), 2684-2694.
- Clark, C. J., Poulsen, J. R., & Parker, V. T. (2001).** The role of arboreal seed dispersal groups on the seed rain of a lowland tropical forest 1. *Biotropica*, 33(4), 606-620.
- Claudette, B.-N., Yougouda, H., Benoît, L. B., Guidawa, F., & Marie, M. P. (2019).** Production de litières et apport de bioéléments de quatre espèces fruitières locales des hautes savanes guinéennes du Cameroun. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 42, 7162-7174.
- Codjia, J. T. C., Assogbadjo, A. E., & Ekué, M. R. M. (2003).** Diversité et valorisation au niveau local des ressources végétales forestières alimentaires du Bénin. *Cahiers agricultures*, 12(5), 321-331.
- 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), Article 5. <https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20200805.13>
- Coly, I., Diatta, T. C., Ngom, D., Badji, A., & Gueye, O. (2020).** Caractéristiques de la flore et de la végétation ligneuses des parcs agroforestiers de l'arrondissement de Tendouck (Basse Casamance, Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(5), 1558-1575.
- Courtois, B. (2007).** Une brève histoire du riz et de son amélioration génétique. *Cirad, France*, 13.
- Dagnelie, P. (2003).** *Principes d'expérimentation : Planification des expériences et analyse de leurs résultats*. Presses agronomiques de Gembloux. 397p https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=IXiWrfts13oC&oi=fnd&pg=PA103&dq=dispositif+exp%C3%A9rimental+danielie&ots=odt_fKaEfn&sig=y7muNEcIzchqt5jnzcbKVogh34
- Dai, P., Cong, P., Wang, P., Dong, J., Dong, Z., & Song, W. (2021).** Alleviating soil acidification and increasing the organic carbon pool by long-term organic fertilizer on tobacco planting soil. *Agronomy*, 11(11), 2135.
- Dasyilva, M., Ndour, N., Diédhiou, M. A. A., & Sambou, B. (2019).** Caractérisation Physico-Chimique des Sols des Vallées Agricoles de la Commune de Ziguinchor au Sénégal. *European Scientific Journal*, ESJ, 15(15). <https://www.academia.edu/download/59672296/1220190611-51065-6b4hq9.pdf>
- Delvaux, A., & Agnan, Y. (2023).** *Influence des biointrants à base de compost sur les propriétés chimiques et biologiques du sol et de la plante*. 94p.
- Dia, A. (2016).** Étude de cadrage opérationnel des chaînes de valeurs Naatal Mbay: rapport sur la chaîne de valeur du riz pluvial (2; CONTRACT AID-685-C-15-00001, p. 36). https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00MN51.pdf

- Diallo, D., Tamini, Z., Barry, B., & Faya, A. O. (2010).** Effet de la fumure organique sur la croissance et le rendement du riz NERICA 3 (WAB 450 IBP 28HB) à Faranah. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(6), Article 6. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i6.64979>
- 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.
- Diallo, M.-D., Chotte, J.-L., Guissé, A., & Sall, S. N. (2008).** Influence de la litière foliaire de cinq espèces végétales tropicales sur la croissance du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) et du maïs (*Zea mays* L.). *Sécheresse*, 19(3), 207-210.
- 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), Article 6. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i6.9>
- Diatta, É. A., Dieng, S. D., Niang-Diop, F., Goudiaby, A., & Sambou, B. (2020).** Importance socio-économique de *Parkia biglobosa* (Jacq) R. Br. Ex G. Don (nééré) dans le système agroforestier en Basse Casamance, Sénégal. *Afrique science*, 17(4), 1-17.
- Diatta, É. A., Sambou, B., Niang-Diop, F., & Diatta, M. (2021).** Caractérisation du parc agroforestier à *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. Ex G. Don en Basse Casamance (Sénégal). *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.28668>
- Diatta, Y., Diédhiou, S., Goudiaby, A. O. K., Bassène, J., Sagna, Y. P., Sow, M., & Diallo, M. D. (2019).** 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.
- Diatta, Y., Diédhiou, 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.
- Diémé, M., Ibrahima, B. A., & Tamba, M. (2022).** Conflit en Casamance : l'intervention des médiateurs dans le maintien de la paix. *Revue Economie, Gestion et Société*, 1(33).
- Dingkuhn, M., Le Gal, P.-Y., & Poussin, J. C. (1995).** *RIDEV : Un modèle de développement du riz pour le choix des variétés et des calendriers*, 21p.
- Djedi, T. (2021).** Effet de la diversité générationnelle sur le besoin en espaces verts. L'indice de Shannon outil de lecture, de mesure et d'évaluation. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 13, e20200037.
- Djogo, J., Gibigaye, M., Tente, B., & Sinsin, B. (2012).** Analyses écologique et structurale de la forêt communautaire de Kaodji au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(2), 705-713.
- Dommergues, Y., Duhoux, E., & Diem, H. G. (1999).** Les arbres fixateurs d'azote. *Edition Espace*, 34, 499.

- Dong, Y., Shao, Y., Liu, A., Liu, X., Wu, M., Hu, X., Zhang, Q., & Meng, Z. (2019).** Insight of soil amelioration process of bauxite residues amended with organic materials from different sources. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(28), 29379-29387. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06007-y>
- Dourma, M., Wala, K., Guelly, K.-A., Bellefontaine, R., Deleporte, P., Akpavi, S., Batawila, K., & Akpagana, K. (2012).** Typologie, caractéristiques structurales et dynamique des faciès forestiers fragiles à Isoberlinia spp. En vue de leur gestion au Togo. *Bois et Forêts des Tropiques*, 3(313), 19-33.
- Dresch, J. (1949).** La riziculture en Afrique occidentale. *Annales de géographie*, 58(312), 295-312. <https://doi.org/10.3406/geo.1949.12760>
- Eyog Matig, O., Adjanohoun, E., De Souza, S., & Sinsin, B. (2001).** *Programme de Ressources Genétiques Forestières en Afrique au Sud du Sahara (Programme Saforgen)*. Bioersity International. https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=AE3OV9toNx4C&oi=fnd&pg=PR5&dq=Programme+de+ressources+g%C3%A9n%C3%A9tiques+foresti%C3%A8res+en+Afrique+au+sud+du+Sahara&ots=ElYERrPRDI&sig=FJpVUSWNVdzw1Q_4Jtumj92req0
- 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.
- Fall, A. A. (2018).** Review Paper : Chaîne de valeur riz en Afrique de l'Ouest : Performance, enjeux et défis en Côte d'Ivoire, Guinée, Libéria, Mali, Sierra Léone et Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 130, 13175-13186. <https://doi.org/10.4314/jab.v130i1>
- Fall, A. C. L., & Sane, Y. (2020).** Diagnostic des Contraintes de Mise en Valeur Rizicole des Sols Fluvio-Marins du Marigot de Bignona, Basse Casamance, Sénégal. *European Scientific Journal*, 16, 359-377.
- FAOSTAT. (2017).** *Base de données statistiques de la F.A.O.* <http://www.fao.org/faostat/>
- FAOSTAT. (2022).** *Base de données statistiques de la F.A.O.* <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/FBS>
- Ferré, T., & MUCHNIK, J. (1993).** Le nététo au Sénégal, systèmes techniques et innovation. *Adaptations techniques et innovations dans les régions tropicales, Paris, L'Harmattan*, 263-293.
- Frimpong, K. A., Phares, C. A., Boateng, I., Abban-Baidoo, E., & Apuri, L. (2021).** One-time application of biochar influenced crop yield across three cropping cycles on tropical sandy loam soil in Ghana. *Heliyon*, 7(2). [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(21\)00372-8.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(21)00372-8.pdf)
- Giudicelli, X., Lanly, J.-P., Ouakam, J.-B., & Pietri, M. (1972).** Application de la théorie des processus aléatoires à l'estimation de la précision d'un inventaire forestier par échantillonnage systématique. *Annales des Sciences Forestières*, 29(2), 267-293. https://www.afs-journal.org/articles/forest/pdf/1972/02/AFS_0003-4312_1972_30_2_ART0005.pdf
- Goudiaby, A. O. K., Diédiou, S., Diatta, Y., Badiane, A., Diouf, P., Fall, S., Diallo, M. D., & Ndoye, I. (2020).** Soil properties and groundnut (*Arachis hypogea* L.) responses to

- intercropping with *Eucalyptus camaldulensis* Dehn and amendment with its biochar. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 11(2), 220-229.
- Goudiaby, M. (2013).** *Les parcs agroforestiers en Basse Casamance : Contribution du Parkia biglobosa (nééré) à la réduction des risques de pauvreté des ménages de la communauté rurale de Mangagoulack, au Sénégal*, 118p.
- Graber, E. R., Meller Harel, Y., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., Rav David, D., Tschansky, 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.
- Gueye, A. A. (2004).** Etude bibliographique sur la filiere riz au Senegal. *ONRS*, 71p.
- Habiba, K., Nasr, Z., Khaldi, A., Woo, S. Y., Nouri, M., & Rejeb, M. N. (2012).** Efficience d'utilisation de l'eau et de l'azote par les plants de chêne-liège (*Quercus suber* L.). *IOBC/wprs Bulletin*, 76, 35-42.
- Hall, J. B., Tomlinson, H. F., Oni, P. I., Buchy, M., & Aebischer, D. P. (1997).** *Parkia biglobosa* : A monograph. *School of Agricultural and Forest Sciences Publication, University of Wales*, 9.
- 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.
- Hopkins, H. C. (1983).** The taxonomy, reproductive biology and economic potential of *Parkia* (Leguminosae : Mimosoideae) in Africa and Madagascar. *Botanical journal of the Linnean Society*, 87(2), 135-167.
- Huber, G., & Schaub, C. (2011).** La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. *Agriculture et terroir, chambre d'agriculture Bas Rhin*, 46p.
- ISRA. (2012).** Guide de production de riz pluvial. *Institut Sénégalais de Recherches Agricoles*, 26p.
- Jonsson, K. (1998).** *Agroforestry in dry savanna areas in Africa : Interactions between trees, soils and crops. Agroforestry systems*, 45, 109-129.
- Jonsson, K., Ong, C. K., & Odongo, J. C. W. (1999).** Influence of scattered nere and karite trees on microclimate, soil fertility and millet yield in Burkina Faso. *Experimental Agriculture*, 35(1), 39-53.
- Julier, B., Louarn, G., Gastal, F., Surault, F., Sampoux, J. P., Maamouri, A., & Fernandez, C. (2014).** Les associations graminées-légumineuses prairiales. Comment sélectionner des variétés pour accroître leur productivité et faciliter leur conduite? *Innovations Agronomiques*, 40, 61-72.
- Kaboneka, S., Nsavyimana, G., Bizimana, S., & Bicereza, D. (2021).** Cinétique de décomposition de la paille de blé dans un sol acide du Mugamba Sud (Burundi) : Effet du mode d'application. *Revue de l'Université du Burundi. Série-Sciences Exactes et Naturelles*, 30, 9-19.
- Kessler, J. J. (1992).** The influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) and nééré (*Parkia biglobosa*) trees on sorghum production in Burkina Faso. *Agroforestry systems*, 17(2), 97-118.

- Khaldi, I. (2021).** *Influence du couvert végétal sur les propriétés physico-chimiques d'un sol steppique : Cas de la région de Ksar Chellala–Wilaya de Tiaret* [PhD Thesis, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie], 53p.
- Kouakou, K. P. M., Muller, B., Fofana, A., & Guisse, A. (2016).** Performances agronomiques de quatre variétés de riz pluvial NERICA de plateau semées à différentes dates en zone soudano-sahélienne au Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 99, 9382-9394. <https://doi.org/10.4314/jab.v99i0.4>
- 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.
- Koura, K., Ganglo, J. C., Assogbadjo, A. E., & Agbangla, C. (2011).** Ethnic differences in use values and use patterns of *Parkia biglobosa* in Northern Benin. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 7(1), 1-12.
- Koutouan, F., Bodji, N., Wandan, N., & Bi, D. (2017).** Effet De La Fertilisation Phospho-Potassique Sur Le Rendement Grainier Et La Qualite Des Semences De *Cajanus Cajan* L. Millsp. Sur Un Ferrasol A Yamoussoukro, Region Centre De La Cote D'ivoire. *European Scientific Journal, ESJ*, 13, 7. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n21p7>
- Kumar, P., Kumar, A., Patil, M., Sharma, N. K., & Singh, A. N. (2022).** Herbaceous vegetation under planted woody species on coal mine spoil acts as a source of organic matter. *Acta Oecologica*, 114, 103809. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103809>
- Lacharme, M. (2001).** *Le plant de riz : Données morphologiques et cycle de la plante. Mémento Technique de Riziculture*, 22p.
- 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.
- Lamien, N., Ekué, M., Ouedraogo, M., & Loo, J. (2011).** *Parkia biglobosa*. African locust bean: conservation and sustainable use of genetic resources of priority food tree species in Sub-Saharan Africa. *Biodiversity International, Rome*, 8p.
- Larwanou, M., Oumarou, I., Snook, L., Danguimbo, I., & Eyog-Matig, O. (2010).** Pratiques sylvicoles et culturales dans les parcs agroforestiers suivant un gradient pluviométrique nord-sud dans la région de Maradi au Niger. *Tropicultura*, 28(2), 115-122.
- Laurin-Lanctôt, S. (2015).** *Effet de l'amendement en biochar des sols biologiques pour une culture de tomates sous serre*.
- 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.
- Nyami, L. B., Sudi, C. K., & Lejoly, J. (2016).** Effet du biochar et des feuilles de *Tithonia diversifolia* combiné à l'engrais minéral sur la culture du maïs (*Zea mays* L.) et les propriétés d'un sol ferrallitique à Kinshasa (RDC). *BASE*. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.12592>

- 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* [PhD Thesis]. Université Laval, 153p.
- Lompo, D., Vinceti, B., Konrad, H., Gaisberger, H., & Geburek, T. (2018).** Phylogeography of African Locust Bean (*Parkia biglobosa*) Reveals Genetic Divergence and Spatially Structured Populations in West and Central Africa. *Journal of Heredity*, 109(7), 811-824. <https://doi.org/10.1093/jhered/esy047>
- Luckow, M., Fortunato, R. H., Sede, S., & Livshultz, T. (2005).** The phylogenetic affinities of two mysterious monotypic mimosoids from southern South America. *Systematic Botany*, 30(3), 585-602.
- Luckow, M., & Hopkins, H. C. (1995).** A cladistic analysis of *Parkia* (Leguminosae: Mimosoideae). *American Journal of Botany*, 82(10), 1300-1320.
- 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>
- Marcon, E. (2015).** *Mesures de la biodiversité* [PhD Thesis], AgroParisTech, 310p.
- Massai Tchima, J., Albert, N., & Ibrahima, A. (2020).** Responses of Maize and Tomato Crops to Fertilization with Three Agroforestry Litter Species (*Annona senegalensis*, *Terminalia macroptera* and *Parkia biglobosa*). *International Journal of Plant & Soil Science*, 32, 80-92. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2020/v32i330262>
- Mathew, J., Mini, C., & Sobhana, A. (2009).** Multiple uses of cashew apple and the contributions of cashew research station, madakkathara. *Cashew research and development in humid tropics*.
- Mathew, J., Sobhana, A., & Mini, C. (2011).** Development of technologies for the economic utilization of cashew apple and its commercial exploitation. *I International Symposium on Cashew Nut 1080*, 353-360.
- Matig, O. E. (2002).** *Programme de ressources génétiques forestières en Afrique au sud du Sahara*. Bioversity International, 131p.
- Mbodj, Y., Faye, A., Demay, G., Coly, J. P., & Malou, J. P. (1989).** La pyriculariose du riz en Casamance, Sénégal. IV- Criblage pluriannuel de variétés de riz aquatique pour leur résistance aux maladies. *L'Agronomie Tropicale (1975)*. <https://agritrop.cirad.fr/431510/>
- Misra, R. V., Roy, R. N., & Hiraoka, H. (2005).** Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. *FAO. ed. Rome*, 48p. <https://www.fao.org/3/y5104f/y5104f.pdf>
- Montoroi, J.-P. (1995).** La riziculture inondée en Basse-Casamance (Sénégal). Contribution des petits barrages antisel à la réhabilitation des bas-fonds chimiquement dégradés par la sécheresse. In *Cheneau-Loquay A., Leplaideur A. (édit.). Les rizicultures de l'Afrique de l'Ouest. Actes du colloque international Quel avenir pour les rizicultures de l'Afrique de l'Ouest*. Montpellier : CIRAD, 1998, p. 303-316.
- Morishima, K., Hinata, K., & Oka, H. (1962).** Comparison between two cultivated rice species, *Oryza sativa* L. and *O. glaberrima* Steud. *Japanese Journal of Breeding*, 12(3), 153-165.

- Muchnik, J. (1997).** Petites entreprises et grands enjeux : Le développement agroalimentaire local. *Petites Entreprises et Grands Enjeux*, 1-356.
- Musara, C., Aladejana, E. B., Mudyiwa, S. M., & Karavina, C. (2020).** *Parkia biglobosa* (Mimosaceae) : Botany, uses, phytochemical properties and pharmacological potential. *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences*, 10(3), 101-115.
- Musset, R. (1942).** Le Riz dans le monde. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 22(247), 151-180.
- Naisse, C. (2014).** *Potentiel de séquestration de carbone des biochars et hydrochars, et impact après plusieurs siècles sur le fonctionnement du sol* [Phdthesis, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI], 123p. <https://theses.hal.science/tel-01130038>
- Nakro, A., Khouali, C., & Bamouh, A. (2020).** Effet de l'équilibre potassium-azote en fertigation sur la productivité et la qualité de trois variétés de fraise. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 8(3). https://agromaroc.com/index.php/Actes_IAVH2/article/view/858
- Ndiaye, N., Mohamed, M. C., Ndiaye, O., & Malainy, D. (2017).** Influence de la flore ligneuse associée dans la production des parcs à *Anacardium occidentale* L. dans la communauté rurale de Djibanar (Casamance/Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2), 585-596.
- 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.
- Ngo, T. P. (2014).** *Effets des amendements organiques exogènes sur la composition de la matière organique et le stockage du carbone d'un sol dégradé par l'érosion dans le Nord du Vietnam*. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI. 114p.
- Ngom, D., Camara, B., Sagna, B., & Gomis, Z. D. (2018).** Cortège floristique, paramètres structuraux et indicateurs d'anthropisation des parcs agroforestiers à *Elaeis guineensis* Jacq. En Basse Casamance, Sénégal. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 36(3), 5919-5932.
- Ngongo, M., & Lunze, L. (2000).** Espèce d'herbe dominante comme indice de la productivité du sol et de la réponse du haricot commun à l'application du compost. *African Crop Science Journal*, 8(3), 251-261.
- Onyeisi, O. (2013).** Phytochemical, Antioxidant and Antimicrobial Properties of *Parkia biglobosa* (African Locust Bean) Pods. *The Bioscientist Journal*, 1(2), Article 2.
- 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.
- Ouedraogo, A.-S. (1995).** *Parkia biglobosa* (Leguminosae) en Afrique de l'Ouest : *Biosystématique et amélioration*. [PhD Thesis], Wageningen University and Research, 202p.
- Ouoba, H. Y., Bastide, B., Coulibaly-Lingani, P., Kabore, S. A., & Boussim, J. I. (2018).** Connaissances et perceptions des producteurs sur la gestion des parcs à *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. (Karité) au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(6), Article 6. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i6.23>

- Oura, J.-T. (2011).** *Diversité du système racinaire de variétés de riz appartenant à la sous espèce japonica tropica* [PhD Thesis]. Montpellier SupAgro 32p.
- Pakeman, R. J. (2001).** Plant migration rates and seed dispersal mechanisms. *Journal of biogeography*, 795-800.
- Pande, H. K. (1997).** *Systèmes améliorés de riziculture pluviale*. FAO.
- Pélissier, P. (1958).** Les Diola : Étude sur l'habitat des riziculteurs de Basse-Casamance. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 11(44), 334-388. <https://doi.org/10.3406/caoum.1958.2094>
- Pélissier, P. (1980).** L'arbre dans les paysages agraires de l'Afrique noire. *Cahiers ORSTOM: Sciences Humaines*, 17(3-4), 131-136.
- Portères, R. (1952).** Les Rizières de ruissellement en Casamance. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 32(351), 34-37. <https://doi.org/10.3406/jatba.1952.6769>
- Portères, R. (1956).** Taxonomie Agrobotanique des Riz cultivés *O. sativa* L. et *O. glaberrima* Steudel. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 3(7), 341-384.
- Posner, J. L., Kamuanga, M., & Sall, S. (1985).** *Les systèmes de production en Basse Casamance et les stratégies paysannes face au déficit pluviométrique*. Department of Agricultural Economics, Michigan State University, 47p.
- Pouliot, M., Bayala, J., & Ræbild, A. (2012).** Testing the shade tolerance of selected crops under *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. In an agroforestry parkland in Burkina Faso, West Africa. *Agroforestry systems*, 85(3), 477-488.
- Pouzet, D., Chabalier, P., & Velle, A. (2007).** *Diagnostic de nutrition azotée au champ de la canne à sucre par mesure photométrique au chlorophylle-mètre (spad)*, 10p.
- Raji, I. A., Chaskda, A. A., Manu, S. A., & Downs, C. T. (2021).** Bird species use of *Tapinanthus dodoneifolius* mistletoes parasitising African locust bean trees *Parkia biglobosa* in Amurum Forest Reserve, Nigeria. *Journal of Ornithology*, 162(4), 1129-1140. <https://doi.org/10.1007/s10336-021-01890-0>
- Rakotomalaza, P. J., & McKnight, M. (2006).** Étude de la variation de la structure et de la composition floristique de la forêt des Mikea du sudouest de Madagascar. *Phelsuma*, 14, 13-36.
- RdS. (2010).** *Quatrième rapport national sur la mise en œuvre de la Convention sur la Diversité Biologique* (4). Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, 132p.
- RdS. (2014).** *Cinquième rapport national sur la mise en œuvre de la Convention sur la Diversité Biologique* (5). Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, 105p.
- Rees, F. (2014).** Mobilité des métaux dans les systèmes sol-plante-biochar. *Université de Lorraine*, 316p.
- Roger, P., Dommergues, Y., Balandreau, J., & Dreyfus, B. (1996).** La fixation biologique de l'azote : Quelles potentialités pour le développement. *Ostrom, France*, 32p.
- Roggy, J. C., & Prévost, M. F. (1999).** Nitrogen-fixing legumes and silvigenesis in a rain forest in French Guiana : A taxonomic and ecological approach. *The New Phytologist*, 144(2), 283-294. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00523.x>

- Rue, M. (2018).** L'agroforesterie intraparcellaire au cœur d'une élaboration paysagère menée par l'agriculteur. *Projets de paysage. Revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace*, 19, Article 19. <https://doi.org/10.4000/paysage.435>
- Saba, F. (2019).** *Résultats préliminaires sur la production et optimisation d'un fertilisant à libération lente (SRF) à base de biochar de tiges de cotonnier et du NPK.* 20p. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/296364>
- Sabiiti, E. N., & Cobbina, J. (1992).** Parkia Biglobosa : A Potential Multipurpose Fodder Tree Legume in West Africa. *International Tree Crops Journal*, 7(3), 113-139. <https://doi.org/10.1080/01435698.1992.9752911>
- Sagna, B. (2020).** *Importance socio-économique, structure et dynamique des parcs agroforestiers à elaeis guineensis jacq dans la région de Cacheu (Guinée Bissau).* Thèse de doctorat. Université Assane Seck de Ziguinchor, 144p.
- Sagna, B., Ngom, D., Diedhiou, M. A. A., Camara, B., Goudiaby, M., Mane, A. S., & Le Coq, Y. (2019).** Importance socioéconomique des parcs agroforestiers à Elaeis guineensis Jacq. Dans la région de Cacheu (Guinée-Bissau). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(7), 3289-3306.
- Sagna, P. (2005).** Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique occidentale. *Th. État ès lettres, université Cheikh Anta Diop, Dakar*, 270p.
- Sagna, Y. P., Diedhiou, S., Goudiaby, A. O. K., Diatta, Y., Diallo, M. D., & Ndoye, I. (2019).** Development of rice (*Oryza sativa* L.) amended with compost and biochar in the sulfato-acid lowlands in southern Senegal. *Journal of Applied Biosciences*, 144, 14831-14841.
- Sané, T., Benga, A., & Sall, O. (2010).** La Casamance face aux changements climatiques : Enjeux et perspectives. *Actes du 23ème colloque de l'AIC.* 559-564p.
- Sanou, J., Bayala, J., Teklehaimanot, Z., & Bazié, P. (2012).** Effect of shading by baobab (*Adansonia digitata*) and néré (*Parkia biglobosa*) on yields of millet (*Pennisetum glaucum*) and taro (*Colocasia esculenta*) in parkland systems in Burkina Faso, West Africa. *Agroforestry systems*, 85(3), 431-441.
- Sanou, J., Bazie, H. R., Dao, M. C. E., & Bayala, J. (2017).** Weeds control through tree-crop associations in a parkland of Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2>
- Sanou, J., Zougmore, R., Bayala, J., & Teklehaimanot, Z. (2010).** Soil infiltrability and water content as affected by Baobab (*Adansonia digitata* L.) and Néré (*Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth.) trees in farmed parklands of West Africa. *Soil use and management*, 26(1), 75-81.
- Shinya, Y., Kosaka, Inoue, K., Koimaru, T., & Sokei, Y. (2010).** *Guide pour la culture du NERICA.* JICA (Agence japonaise de coopération internationale), 44p.
- Sina, S. (2006).** *Reproduction et diversité génétique chez Parkia biglobosa (Jacq.) G. Don.* PhD thesis Wageningen University, Wageningen, the Netherlands, 118p.
- Sissoko, K. (1998).** Et demain l'agriculture ? Options techniques et mesures politiques pour un développement agricole durable en Afrique subsaharienne : Cas du Cercle de Koutiala en zone sud du Mali. *Documents sur la Gestion des Ressources Tropicales (Netherlands)*, 23p.

- Smith, O. B. (2004).** *Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone : Enjeux, concepts et méthode.* IDRC, Editions Quae, 173p.
- Solly, B., Dieye, E. H. B., Mballo, I., Sy, O., Sane, T., & Thior, M. (2020).** Dynamique spatio-temporelle des paysages forestiers dans le Sud du Sénégal : Cas du département de Vélingara. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, Volume 15. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.10634>
- Somado, E. A., Guei, R. G., & Keya, S. O. (2008).** *NERICA : The new rice for Africa: A compendium.* Africa Rice Center (WARDA), Cotonou, Benin, 210 p.
- Sourabie, S., Zerbo, P., Yonli, D., & Boussim, J. I. (2020).** Connaissances traditionnelles des plantes locales utilisées contre les bio-agresseurs des cultures et produits agricoles chez le peuple Turka au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(4), 1390-1404.
- Stancioff, A., Staljanssens, M., & Tappan, G. (1985).** *Cartographie et télédétection des ressources naturelles pour le Plan national d'aménagement de territoire.* USAID/RSI (685-0233), 674p.
- Tedersoo, L., Laanisto, L., Rahimlou, S., Toussaint, A., Hallikma, T., & Pärtel, M. (2018).** Global database of plants with root-symbiotic nitrogen fixation : NodDB. *Journal of Vegetation Science*, 29(3), 560-568. <https://doi.org/10.1111/jvs.12627>
- Thiao, M., & Larbi, A. (2022).** Analyse de la situation de la riziculture pluviale au sud du Sénégal. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 10(1).
- Thornell, C. (2020).** Milieu langagier chez les Bayotte au Sénégal, aujourd'hui et dans l'avenir. *Journal of Language Survey Reports*, 78p.
- Tomlinson, H., Teklehaimanot, Z., Traoré, A., & Olapade, E. (1995).** Soil amelioration and root symbioses of *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. in West Africa. In F. L. Sinclair (Ed.), *Agroforestry : Science, Policy and Practice : Selected papers from the agroforestry sessions of the IUFRO 20th World Congress, Tampere, Finland, 6–12 August 1995* (p. 145-159). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0681-0_7
- Tomlinson, H., Traore, A., & Teklehaimanot, Z. (1998).** An investigation of the root distribution of *Parkia biglobosa* in Burkina Faso, West Africa, using a logarithmic spiral trench. *Forest ecology and management*, 107(1-3), 173-182.
- Touré, M. (2013).** *Les rapports de genre et la filière néré en Haute Guinée* [PhD Thesis]. Université Toulouse le Mirail-Toulouse II, 510p.
- Traore, O., Boro, F., Nikiéma, E. W., & Wonni, I. (2023).** Efficacité du compost enrichi à l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* L. sur le flétrissement bactérien de la tomate causé par *Ralstonia solanacearum* et Smith dans la région des Hauts-Bassins au Burkina Faso. *Agronomie Africaine*, 35(2), 285-295.
- USAID. (2010).** *PLAN LOCAL D'HYDRAULIQUE ET D'ASSAINISSEMENT-PLHA Communauté rurale de NYASSIA.* Agence Américaine pour le Développement International (USAID), 56p. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pa00jz91.pdf
- Uyovbisere, E. O., & Elemo, K. A. (2002).** Effect of tree foliage of locust bean (*Parkia biglobosa*) and neem (*Azadirachta indica*) on soil fertility and productivity of maize in a savanna alfisol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62(2), 115-122.

- Valdés-Rodríguez, O. A., Sánchez-Sánchez, O., & Pérez-Vázquez, A. (2013).** Effects of soil texture on germination and survival of non-toxic *Jatropha curcas* seeds. *Biomass and Bioenergy*, 48, 167-170. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.10.025>
- Van Leeuwen, C. H., Tella, J. L., & Green, A. J. (2020).** Animal-mediated dispersal in understudied systems. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 508.
- Vellend, M., Myers, J. A., Gardescu, S., & Marks, P. L. (2003).** Dispersal of Trillium seeds by deer: Implications for long-distance migration of forest herbs. *Ecology*, 84(4), 1067-1072.
- Vergara, B. S. (1984).** *Manuel pratique de riziculture*. International Rice Research Institute, 192p.
- Wala, K., Sinsin, B., Guelly, K. A., Kokou, K., & Akpagana, K. (2005).** Typologie et structure des parcs agroforestiers dans la préfecture de Doufelgou (Togo). *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 16(3), 209-216.
- Wopereis, M. C. S., Defoer, T., Idinoba, P., Diack, S., & Dugué, M. J. (2008).** Curriculum d'apprentissage participatif et recherche action (APRA) pour la gestion intégrée de la culture de riz de bas-fonds (GIR) en Afrique subsaharienne: Manuel technique. *Cotonou, Bénin: le Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO)*, 4, 128.
- Wu, L., Zhang, W., Ding, Y., Zhang, J., Cambula, E. D., Weng, F., Liu, Z., Ding, C., Tang, S., Chen, L., Wang, S., & Li, G. (2017).** Shading Contributes to the Reduction of Stem Mechanical Strength by Decreasing Cell Wall Synthesis in Japonica Rice (*Oryza sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00881>
- Yameogo, G., Yelemou, B., Boussim, I. J., & Traore, D. (2013).** Gestion du parc agroforestier du terroir de Vipalogo (Burkina Faso): Contribution des ligneux à la satisfaction des besoins des populations. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(3), 1087-1105.
- Yaméogo, G., Yélémo, B., & Traoré, D. (2005).** Pratique et perception paysannes dans la création de parc agroforestier dans le terroir de Vipalogo (Burkina Faso). *Biotechnol Agron Soc Environ*, 9(4), 241-248.
- Zinsouklan, J., Toyi, M. S., Aoudji, A. K., Tenté, B., Hounnou, F., & Houinato, M. R. (2015).** Vers une valorisation durable des espèces négligées: Formes d'utilisations, retombées financières et modes de gestion de *Parkia biglobosa* (jacq.) R. br. Ex Benth. Au centre bénin. *Sciences de la vie, de la terre et agronomie*, 2(2).
- Zucchini, E., Manzelli, M., Tarchiani, V., & Di Vecchia, A. (2020).** La filière étatique des semences de riz pluvial en Casamance (Sénégal): Fonctionnement, contraintes et perspectives de développement. *European Scientific Journal, ESJ*, 16(5), 26.