

UNIVERSITÉ ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



UFR DES SCIENCES ET TECHNIQUES

École doctorale : Sciences, Technologies et Ingénierie

Année : 2024

N° d'ordre : 96

Thèse de Doctorat Unique

**Amélioration de la productivité de l'anacardier
(*Anacardium occidentale* L.) au Sénégal par l'utilisation
des champignons mycorhiziens à arbuscules**

Présentée par : M^{me} Khêmes Marie Odile THIOCONE

Pour l'obtention du grade de :

Docteur en Sciences Agronomiques et Environnement

Spécialité : Agroforesterie et Productions végétales

Soutenue publiquement le 10 août 2024, devant le jury composé de :

Président	Daouda NGOM	Professeur Titulaire	UCAD
Rapporteurs	Moustapha GUEYE	Maître de Recherche	ISRA
	Ismaila COLY	Maître de Conférences	UASZ
	Ousmane NDIAYE	Maître de Conférences	ENSA
Examineurs	Abdoulaye SOUMARÉ	Maître Assistant	UASZ
	Dioumacor FALL	Maître de Recherche	ISRA
Directeur de Thèse	Mohamed Mahamoud CHARAHABIL	Maître de Conférences	UASZ

DEDICACES

A la mémoire de mon père Victor THIOCONE

Ton départ au pays des anges généreux

N'effacera jamais le souvenir des jours heureux

Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité.

Papa, tu as été pour moi le meilleur des pères

Un père dont le coeur est fait de lumière

Papa je t'aime

Repose en Paix, en ma vie tu restes le plus beau témoignage

Je ne t'oublierai jamais !

A ma très chère mère : Fatou NGOM

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi.

Tu m'as comblé avec ta tendresse et ton affection tout au long de mon parcours.

Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait.

En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et de ma profonde estime.

Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour. Amen !

A mon ami et frère Joel Célestin Phylippe AHYI

Tu es parti avant nous, bien trop tôt, et tu nous rappelles qu'ici-bas, notre vie est peu de chose.

Je n'oublierai jamais les moments qu'on a passés ensemble

Repose en paix

« Dieu fera »

REMERCIEMENTS

Je rends grâce à DIEU de m'avoir donné la force, le courage et la détermination de pouvoir accomplir ce travail. Ces quelques mots sont une occasion pour moi de remercier les personnes qui ont contribué de près ou de loin et par diverses manières à la production de ce document scientifique. Mes sincères remerciements vont au :

- ❖ **Pr Mohamed Mahamoud CHARAHABIL** pour la confiance qu'il a portée à ma personne en me confiant ce projet de recherche et pour son encadrement de qualité. Mais aussi pour son soutien moral, financier et spirituel. A travers lui je remercie le Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation à travers son projet **Fonds d'Impulsion pour la Recherche Scientifique et Technique (FISRT)** pour le financement de ce projet de recherches scientifique ;
- ❖ **Dr Saliou FALL**, Directeur du Laboratoire Commun de Microbiologie des sols (IRD/ISRA/UCAD) pour avoir accepté de m'accueillir au LCM et d'avoir facilité le déroulement de mes travaux au LCM. Et à travers lui, tout le personnel du laboratoire pour l'accueil et la contribution à la réalisation de ce travail. Mention spéciale au team mychorize Dr Fatoumata FALL, Dr Salimata DIATTA, M. Cheikh NDIAYE et Mlle Diouma SENE pour m'avoir bien assisté et aidé dans les manipulations ;
- ❖ **A M. Paul TENDENG** laborantin du LCM, pour ses conseils, son assistance et ses encouragements.
- ❖ Aux membres du comité de thèse, **Dr Saliou FALL, Dr Valérie HOCHER, Dr Abdoulaye SOUMARE, Dr Fatou NDOYE**, et **Pr Amadou BA**, je ne vous remercierai jamais assez. J'ai eu le privilège de travailler avec vous et d'apprécier vos qualités scientifiques et humaines. Vos orientations, vos nombreuses relectures et suggestions allant dans le but d'améliorer la qualité scientifique de ce travail m'ont été d'une grande aide. Veuillez trouver ici l'expression de ma considération et de ma profonde admiration pour toutes vos qualités.
- ❖ Au Président du Jury de cette thèse **Pr Daouda NGOM** (Ministre de l'Environnement et de la transition Ecologique), de m'avoir fait l'honneur de présider cette thèse malgré son calendrier chargé.

Mention spéciale aux rapporteurs :

- ❖ **Dr Mousthapha GUEYE**, d'avoir accepté de participer à ce jury thèse en sa qualité de rapporteur. Merci beaucoup pour le temps que vous avez accordé à ce travail ;
- ❖ **Dr Ismaïla COLY** de m'avoir fait l'honneur de juger ce travail en qualité de rapporteur. Merci pour l'intérêt que vous avez porté à ce travail et à

- ❖ **Dr Ousmane NDIAYE** de m'avoir fait cette privilège d'accepter de juger cette thèse en sa qualité de rapporteur. Merci pour votre disponibilité et l'intérêt que vous avez porté à ce travail ;

Je remercie aussi les examinateurs de cette thèse :

- ❖ **Dr Abdoulaye SOUMARE** d'avoir accepté d'évaluer la qualité scientifique de cette thèse et
- ❖ **Dr Dioumacor FALL** un grand merci à vous aussi d'avoir accepté d'examiner la qualité scientifique de cette thèse ;
- ❖ Aux producteurs d'anacarde dans les régions de Ziguinchor, Sédhiou et Kolda, de m'avoir permis d'effectuer des prélèvements de sols et de racines dans leur plantation. Mais aussi d'avoir mis à notre disposition des noix pour les expérimentations.
- ❖ À **M. Mathieu Nding FAYE** pour tout le soutien qu'il m'a apporté durant mon stage au LCM.
- ❖ À **Sophie SEYE** et à toute sa famille de m'avoir accueillie à Ndiémou (Fatick) pour les prélèvements de sol et de racines dans leur plantation.
- ❖ À **Dr Arfang SOUMARE** de m'avoir aidé à l'obtention du phosphate naturel ;
- ❖ À tous les stagiaires du LCM, mention spéciale à ma grande sœur **Diariatou NIANG**

Ce travail est aussi pour moi l'occasion de témoigner ma profonde gratitude à ;

- ❖ Tout corps professoral du département d'agroforesterie de l'Université Assane Seck de Ziguinchor avec son chef **Dr Ismaïla COLY**, pour leurs enseignements de qualité, leurs soutiens et encouragements ;

- ❖ Nos enseignants vacataires ;
- ❖ Monsieur le responsable du Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie de l'Université Assane Seck de Ziguinchor et à tous les doctorants du dit labo ;
- ❖ Nos aînés, **Dr Boubacar CAMARA, Dr Maurice DASYLVA, Dr Arfang Ousmane Kemo GOUDIABY, Dr Mamadou Abdoul Ader DIEDHIOU, M. Paul DIOUF, Dr. Seydou NDIAYE, Dr Landing NDIAYE, Mlle Yolande SENGHOR et Mlle Claver Ndébane NGOM.** Mention spéciale à **Dr. Landing NDIAYE** qui m'a beaucoup aidé dans le prélèvement des échantillons des sols ;
- ❖ Tout le personnel administratif de l'Université Assane Seck de Ziguinchor, particulièrement à **M. DIENG, M. DJIBA et M. BANDIA** ;

Mes remerciements vont aussi à l'encontre de :

- ❖ Mon mari, **Dr Etienne TENDENG**, qui est une référence pour moi. Tu as toujours cru en moi, tu n'as jamais cessé de me répéter que tu y arriveras. Ton amour pour le travail

bien fait est un caractère que j'estime beaucoup chez toi. Merci de m'avoir épaulé, encouragé et soutenu à la réalisation de cet œuvre scientifique ;

❖ Tata **Josephine SAMBOU** et à toute sa famille, je ne vous remercierai jamais assez pour m'avoir accueilli durant tout mon cycle universitaire à Ziguinchor. Je vous en serais éternellement reconnaissante ;

❖ **Mariama DIEME** et à toute sa famille qui m'ont accueilli à Dakar durant ces trois années de la thèse ;

❖ **Ousmane SENE** ainsi qu'à toute sa famille ;

❖ Ma grand-mère **Thérèse SENE** qui a été une grande aide pour moi, que le Bon Dieu vous prête longue vie ;

❖ Tonton **Théodore Ibrahima NGOM** et à sa femme **Tata Marie FAYE** pour leur soutien moral, financier et spirituel ;

❖ Maman **Marie Joe TENDENG** et toute sa famille ;

❖ Tata **Anna FAYE** et toute sa famille ;

❖ Mes promotionnaires du 7^e 2013/2014 du département d'agroforesterie de l'Université Assane Seck de Ziguinchor ;

❖ La classe catéchèse wolof de l'église **Notre Dame du Cap Vert** (Pikine), un grand merci à vous, vos conseils, prières et encouragements me vont droit au cœur. Je n'oublierai jamais les moments qu'on a eu à partager ;

❖ Mes neveux **Mouhamadou Moustapha KABO** et **Alassane KABO** ;

❖ Tous les membres de la famille THIOCONE, NGOM, SAMBOU, DIEME, SANE et TENDENG, je vous dis merci pour vos prières sans cesse pour la réussite de ce document scientifique.

Enfin mes pensées vont tout naturellement à mes parents Victor et Fatou NGOM, à ma grande sœur Mbacké FAYE et à son époux Moussa KABO, à mon petit frère Salomon THIOCONE et à sa femme Mossane SOUNG dont leur soutien dans tous les domaines, durant ces longues années, ne saurait être évalué.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACA : Alliance Africaine du Cajou

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

AFLP : Amplified fragment length polymorphism

AMF : Arbuscular Mycorrhizal Fung

ANOVA : Analyse de la Variance

BAS : Biomasse Aérienne Sèche

BRS : Biomasse Racinaire Sèche

BTS : Biomasse Totale Sèche

BTM : Biomasse totale des plants mycorhizés

BTNM: Biomasse totale des plants non mycorhizés

BV : Biologie Végétale

Ca²⁺ : Calcium

CO₂ : Dioxyde de Carbone

°C : degré Celsius

C : Carbone

CMA : Champignon mycorhizien à arbuscules

CNRA : Centre National de Recherches Agronomiques

CNRF : Centre National de Recherches Forestières

CNSL: Cashew Nut Shell Liquid

CRAAQ : Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec

CRZ : Centre de Recherches Zootechniques

DGGE : Gradient Gel Electrophoresis

DM : dépendance mycorhizienne

DNA : Deoxyribonucleic acid

ENSA : École Nationale Supérieure d'Agriculture

Ex : exemple

FCFA : Franc des Communauté Financière en Afrique

F : Fréquence

FAO : Food and Agriculture Organization

FIRST: Projet Fonds d'Impulsion de la Recherche Scientifique et Technique

FRK : Projet Foresterie rurale de Kolda Sénégal

g/plant/an : gramme par plant par année

GIZ : Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit

Hauteur : Hauteur

H⁺ : hydrogène

HCL : Chlorure d'Hydrogène

HPO₄²⁻ : ion hydrogénophosphate

H₂PO₄⁻ : dihydrogénophosphate

I : Intensité

iCA : Initiative pour le Cajou Africain

ICAS : Interprofession Cajou du Sénégal

INRA : Institut national de la recherche agronomique

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

ITRA : Institut Togolais de Recherche Agronomique

IRD : Institut de recherche pour le développement

ISSR : Inter Simple Sequence Repeat

K⁺ : Potassium

K₂O: Oxyde de Potassium

KOH : hydroxyde de potassium

KOR : Kernel Output Ratio

L. : Linné

LECO : Laboratory Equipment Company

MA : mycorhizes à arbuscules

Mg²⁺ : Magnésium

mg/100 g : milligramme pour cent gramme

Mi : Michigan

MPN : nombre le plus probable

N : azote

N° : numéro

n : nombre de fragment

2n : nombre de paire de chromosomes

NF : Nombre de feuilles

NS : Non Significatif

NO₃⁻ : ion nitrate

NH₄⁺ : ion ammonium

MO : Matière Organique

ONU : Organisation des Nations unies pour le développement industriel

OOAS : Organisation Ouest Africaine de la Santé
P : Probabilité
P : phosphore
PADERCA : Projet d'appui au développement rural en Casamance
PASA : Projet Anacardier Sénégalo Allemand
PCR : Polymerase Chain Reaction
pH : Potentiel hydrogène
P/L : phosphore par litre
PAEFK : Projet d'Appui à l'Entreprenariat Forestier de Kolda
PPFS : Projet de Protection des Forêts du Sud
Pr : Professeur
PM : potentiel mycorrhizogène
PIM₅₀ : potentiel infectieux mycorrhizogène
P₂O₅ : Pentoxyde de Phosphore
PO₄³⁻ : ion phosphate
RAPD : Random Amplified Polymorphic
RFLP : Restriction Fragment Length Polymorphism
SSCP : Single-Strand Conformation Polymorphism
UASZ : Université Assane Seck de Ziguinchor
UCAD : Université Cheikh Anta Diop
UFR : Unité de Formations et de Recherches
UIDT : Université Iba Der THIAM de Thiès
UNIFA : union des industries de la fertilisation
USAID : Agence Américaine pour le Développement International
USDA : United States Department of Agriculture
USA : Etats Unis d'Amérique
UV : ultraviolet
VA : endomycorhizes à vésicules et arbuscules
v/v : volume sur volume
x : multiplié par

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Arbre sur pied de <i>Anacardium occidentale</i> (crédit photo, Thiocone 2021).....	7
Figure 2 : Les différents types de fleurs d'anacardier : (A) = Fleurs mâles, (B) = fleurs stériles et (C) = Fleurs hermaphrodites (Salifou et Masawe, 2018)	8
Figure 3 : Fruit de l'anacardier	9
Figure 4 : Amande de noix de cajoux transformée en amuses bouche (https://acasen.com/produit/amande-de-cajou)	12
Figure 5 : Jus de pomme de cajou (https://timolokoy.com/blog/wp-content/uploads/2020/06/timolokoy-jus-pommes-cajou-05.jpg)	13
Figure 6 : Structure d'une endomycorhize à vésicules et arbuscules (Fortin et <i>al.</i> , 2008)	18
Figure 7 : Carte du Sénégal indiquant la zone de culture de l'anacarde au Sénégal et la zone d'échantillonnage des sols	30
Figure 8 : Densité des champignons mycorhiziens à arbuscules en fonction des sites.....	34
Figure 9 : Les différents genres de champignons mycorhiziens arbuscules identifiés (crédit photo Thiocone, 2022)	35
Figure 10 : Fréquence d'apparition des spores de CMAs en fonction du genre.....	35
Figure 11 : Analyse en composantes principales de la diversité des champignons mycorhiziens arbusculaires et des paramètres physico-chimiques des sols	37
Figure 12 : Site de collecte des noix	46
Figure 13 : Noix d'anacarde crédit photo (Thiocone, 2022).....	46
Figure 14 : Longueur moyenne des noix (cm) en fonction de la provenance	48
Figure 15 : Largeur moyenne des noix (cm) en fonction de la provenance	49
Figure 16 : Épaisseur des noix (cm) en fonction de la provenance.....	50
Figure 17 : Masse moyenne des noix (g) en fonction de la provenance	51
Figure 18 : Le taux de germination des noix en fonction de la provenance.....	52
Figure 19 : Vitesse de germination des provenances en fonction du temps.....	53
Figure 20 : Délai de germination en fonction de la provenance.....	54
Figure 21 : Dispositif expérimental en randomisation total pour une provenance.....	65
Figure 22 : Notation de l'infection mycorhizienne (classe 0 à classe 5) (Trouvelot et al., 1986)	67
Figure 23 : Dispositif expérimental en bloc complètement randomisé pour une provenance	84
Figure 24 :Notation de l'infection mycorhizienne (classe 0 à classe 5) (Trouvelot et <i>al.</i> , 1986)	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractérisation physicochimique des sols	33
Tableau 2 : Répartition des différents genres de CMAs en fonction du site.....	36
Tableau 3 : Le nombre le plus probable de propagules infectieuses dans 100 g de sol dans chaque site d'étude.....	36
Tableau 4 : Coefficients de corrélation de Pearson entre les paramètres chimiques du sol, l'abondance des spores de CMAs et le MPN du sol.....	38
Tableau 5 : Corrélation des différents paramètres étudiés	51
Tableau 6 : Corrélation entre les différents paramètres mesurés et le taux de germination des noix.....	55
Tableau 7 : Analyse de la variance de la hauteur des plants d'anacardier	69
Tableau 8 : Analyse de la variance du diamètre au collet des plants d'anacardier.....	70
Tableau 9 : Analyse de la variance du nombre de feuilles des plants d'anacardier	71
Tableau 10 : Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle des feuilles des plants d'anacardier.....	71
Tableau 11 : La dépendance mycorhizienne des différentes provenances d'anacardier étudiées.	73
Tableau 12 : Taux de mycorhization des différentes provenances d'anacardier étudiées	75
Tableau 13 : Matrice de corrélation (Pearson) des différents paramètres étudiés	76
Tableau 14 : Analyse de la variance de la hauteur des plants d'anacardier	88
Tableau 15 : Analyse de la variance du diamètre au collet des plants d'anacardier.....	88
Tableau 16 : Analyse de variance du nombre de feuille des plants d'anacardier	89
Tableau 17 : Analyse de variance de la teneur en chlorophylle des plants d'anacardier	89
Tableau 18 : Analyse de variance des biomasses aérienne et racinaire (fraiche et sèche) des plants d'anacardier	91
Tableau 19 : Effet de l'inoculation et de la fertilisation phosphatée sur la fréquence et l'intensité de mycorhization des plants	93

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Données physiques des sols d'études	140
Annexe 2 : Données chimiques des sols d'études.....	141
Annexe 3 : Poster présenté au congrès AABNF	142
Annexe 4 : Communication orale présentée au Symposium of young Mycologists from Tropical Africa (Online).....	143
Annexe 5 : Article publié	143

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS.....	ii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	v
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES ANNEXES	x
RESUME.....	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	6
1.1. Généralités sur l’anacardier	7
1.1.1. Origine et classification systématique	7
1.1.2. Description botanique de l’anacardier	8
1.1.3. Écologie de l’anacardier	9
1.1.4. Multiplication de l’anacardier	11
1.1.5. Fertilisation	11
1.1.6. Importance socio-économique de l’anacardier.....	12
1.1.7. Les contraintes de la production de l’anacardier.....	15
1.2. Généralités sur les mycorhizes	16
1.2.1. La symbiose mycorhizienne.....	16
1.2.2. Diversité des associations mycorhiziens	16
1.2.3. Potentiel mycorhizogène du sol.....	19
1.2.4. Techniques utilisées pour l’identification taxonomique et l’étude de la diversité des CMAs	19
1.2.4.1. Les techniques basées sur la morphologie pour l’étude de la diversité des CMAs	20
1.2.4.2. Les techniques basées sur la biologie moléculaire	20

1.2.5.	Effets des champignons mycorhiziens à arbuscules dans l'amélioration de la productivité des plants.....	20
1.2.6.	Les facteurs de l'expression de la symbiose mycorhizienne	24
1.2.6.1.	Lumière.....	24
1.2.6.2.	La plante hôte.....	24
1.2.6.3.	Effet du pH du sol sur la symbiose.....	24
1.2.7.	Dépendance mycorhizienne	25
CHAPITRE 2 : DIVERSITE DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS A ARBUSCULES PRESENTS DANS DES PLANTATIONS D'ANACARDIUM OCCIDENTALE. L AU SENEGAL		26
	Résumé	27
	Abstract	28
	Introduction	29
2.1.	Matériel et Méthodes	30
2.1.1.	Presentation de la zone d'étude	30
2.1.2.	Prélèvement des échantillons de sols	30
2.1.3.	Caractérisation physicochimique des sols	31
2.1.4.	Dénombrement et identification des spores de champignons mycorhiziens à arbuscules	31
2.1.5.	Le nombre le plus probable de propagules (MPN) de champignons mycorhiziens à arbuscules	32
2.1.6.	Analyse des données.....	32
2.2.	Résultats	33
2.2.1.	Analyse physico-chimique des sols	33
2.2.2.	Densité des spores de champignons mycorhiziens à arbuscules dans les différents sites d'études	34
2.2.3.	Diversité morphologique des spores de champignons mycorhiziens à arbuscules	35
2.2.4.	Abondance des spores de CMAs en fonction du site	36

2.2.5. Relation entre les propriétés physicochimiques du sol et l'abondance des spores de CMAs	36
2.3. Discussion	39
Conclusion	40
CHAPITRE 3 : COMPARAISON DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES ET CAPACITE GERMINATIVE DES NOIX DE CAJOU (<i>ANACARDIUM OCCIDENTALE</i>. L) PROVENANT DES QUATRE ZONES DE PRODUCTION DU SENEGAL	41
Résumé	42
Abstract	43
Introduction	44
3.1. Matériel et Méthodes	46
3.1.1. Provenance des noix d'anacardiens	46
3.1.2. Etude des traits morpho métriques des noix	46
3.1.3. Étude de la germination des noix et conduite de l'expérimentation	47
3.1.4. Analyse des données	47
3.2. Résultats	48
3.2.1. Caractéristique morphologique et pondérale des noix	48
3.2.2.1. Longueur moyenne des noix	48
3.2.2.2. Largeur moyenne des noix	49
3.2.2.3. Épaisseur moyenne des noix	50
3.2.2.4. Masse moyenne des noix	51
3.2.3. Corrélation entre les différents paramètres étudiés	51
3.2.4. Capacité germinative des noix	52
3.2.4.1. Le taux de germination des noix	52
3.2.4.2. Vitesse de germination des noix	53
3.2.4.3. Délai de germination des noix	54
3.2.5. Corrélation entre les différents paramètres mesurés et la germination des noix	

3.3. Discussion	56
Conclusion	58
CHAPITRE 4 : EFFETS DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS A ARBUSCULES SUR LA CROISSANCE DES JEUNES PLANTS D'ANACARDIER AU SENEGAL... 60	
Résumé	61
Abstract	62
Introduction	63
4.1. Matériel et Méthodes	64
4.1.1. Matériel végétal	64
4.1.2. Matériel fongique	64
4.1.3. Substrat de culture	65
4.1.4. Dispositif expérimental	65
4.1.5. Test de la qualité des noix et prétraitement des noix	65
4.1.6. Semis et inoculation des plants	66
4.1.7. Suivi des paramètres de croissance et de la teneur en chlorophylle	66
4.1.8. Récolte et conservation des plants	66
4.1.9. Observation et estimation de la colonisation mycorhizogène des racines ... 66	
4.1.10. La dépendance mycorhizienne de l'anacardier	68
4.1.11. Analyse et traitement des données	68
4.2. Résultats	69
4.2.1. Effets de l'inoculation avec les CMAs sur les paramètres de croissances et la teneur en chlorophylle des différentes provenances d'anacardier étudiées	69
4.2.1.1. Effets de l'inoculation sur la hauteur	69
4.2.1.2. Effet de l'inoculation sur le diamètre au collet	70
4.2.1.3. Effet de l'inoculation sur le nombre de feuilles	71
4.2.1.4. Effet de l'inoculation sur la teneur en chlorophylle	71
4.2.2. Évaluation de la dépendance mycorhizienne des différentes provenances d'anacardier étudiées	72

4.2.3. Évaluation de la fréquence et de l'intensité de mycorhization des différentes provenances d'anacardier étudiées	74
4.2.4. Corrélation entre les différents paramètres étudiés	76
4.3. Discussion	76
Conclusion	78
CHAPITRE 5 : EFFETS COMBINES DE L'INOCULATION AVEC DES CMAS ET DE LA FERTILISATION AVEC DU PHOSPHATE NATUREL SUR LA CROISSANCE DE PLANTS D'ANACARDIER (<i>ANACARDIUM OCCIDENTALE.L</i>) EN MILIEU SEMI CONTROLE	
	79
Résumé	80
Abstract	81
Introduction	82
5.1. Matériel et méthodes	83
5.1.1. Mise en place du dispositif expérimental	83
5.1.2. Rempotage des gaines	85
5.1.3. Prétraitement des noix	85
5.1.4. Semis, inoculation et fertilisation	85
5.1.5. Suivi et mesure des paramètres de croissance et de la teneur en chlorophylle	85
5.1.6. Récolte et conservation des plants	86
5.1.7. Observation et estimation de la colonisation mycorhizogène des racines	86
5.1.8. Traitement et analyse des données	87
5.2. Résultats	88
5.2.1. Effet de l'inoculation et de la fertilisation phosphatée sur les paramètres de croissances et la teneur en chlorophylle	88
5.2.1.1. Sur la hauteur	88
5.2.1.2. Sur le diamètre au collet	88
5.2.1.3. Sur le nombre de feuille	89

5.2.1.4. Sur la teneur en chlorophylle	89
5.2.2. Effet de l'inoculation et de la fertilisation phosphatée sur les biomasses aérienne et racinaire (fraîche et sèche)	89
5.2.3. Effet de l'inoculation sur la fréquence et l'intensité de mycorhization	92
5.3. Discussion	94
Conclusion	95
DISCUSSION GENERALE	96
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	101
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	104
ANNEXES	139

RESUME

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) est une espèce fruitière d'intérêt économique. L'Afrique de l'Ouest concentre 45% de la production mondiale de noix d'anacarde, dont la moitié est produite par la Côte d'Ivoire. Au Sénégal la production annuelle est estimée à environ 160000 tonnes en 2023. Le défi actuel de la culture de l'anacarde au Sénégal est l'amélioration de sa productivité par une solution durable et respectant l'environnement. L'objectif général de cette étude était de contribuer à l'amélioration de la productivité de l'anacardier par l'utilisation des champignons mycorhiziens arbusculaires. Il s'agissait (i) de déterminer la densité et la diversité des CMAs associés à l'espèce, (ii) de comparer les paramètres morphologiques et la capacité germinative des noix d'anacarde (iii) d'estimer les taux de mycorhisation des jeunes plants issus des noix des différentes zones de production et; (iv) de comparer les performances des plants de différentes provenances inoculés et des plants non inoculés avec ou sans apport de phosphate naturel. Pour atteindre ces objectifs, vingt échantillons de sol ont été collectés dans les quatre zones de production d'anacardier au Sénégal. La densité et la diversité des CMAs ont été déterminées par la méthode de tamisage humide. La caractérisation morphologique et capacité germinative des noix d'anacardier ont été déterminés sur un lot de 225 noix d'anacardier par zone de production. Une estimation des taux de mycorhisation des jeunes plants d'anacardier a été réalisée grâce à des tests de mycorhization avec sept inocula provenant de la collection du LCM/Sénégal, un mélange d'inocula et un Témoin). L'effet de la combinaison de l'inoculation et du phosphate naturel (PN) à différente dose a été déterminé sur de jeunes plants d'anacardier. Les résultats obtenus montrent que la densité moyenne des spores de CMAs est significativement plus élevée à Ziguinchor (610 spores/100g de sol) et plus faible à Kolda (211 spores/100g de sol). Ces spores de CMAs appartiennent aux genres : *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* et *Racocetra*. La caractérisation morphologique des noix montre que, celles en provenance de Fatick ont présenté les meilleurs caractères morphologiques et celles de Kolda les plus faibles valeurs. Le meilleur taux de germination a été enregistré par la provenance Ziguinchor (64,62 %) et le plus faible par la provenance Fatick (23,08 %). L'inoculation des jeunes d'anacarde a eu un effet significatif sur la dépendance mycorhiziéne, la fréquence et l'intensité de mycorhization. La combinaison de l'inoculation et du PN a montré un effet significatif sur le diamètre des plants à deux mois de culture quelle que soit la provenance. L'ensemble des résultats obtenus pourrait être un outil important d'aide à la décision pour l'amélioration de la robustesse des plants d'anacardier.

Mots clés : Anacardier, Productivité, Champignons mychoriziens à arbuscules, Sénégal

ABSTRACT

The cashew tree (*Anacardiumouest* L.) is a fruit species of economic interest. West Africa concentrates 45% of the world production of cashew nuts, half of which is produced by Côte d'Ivoire. In Senegal, annual production is estimated at around 160000 tonnes in 2023. The current challenge for cashew nut cultivation in Senegal is improving its productivity through a sustainable and environmentally friendly solution. The general objective of this study was to contribute to improving the productivity of the cashew tree through the use of arbuscular mycorrhizal fungi. The aim was to (i) determine the density and diversity of AMFs associated with the species, (ii) compare the morphological parameters and germination capacity of cashew nuts (iii) estimate the mycorrhization rates of young plants from nuts from different production zones and; (iv) to compare the performances of inoculated plants from different origins and non-inoculated plants with or without natural phosphate addition. To achieve these objectives, twenty soil samples were collected in the four cashew production zones in Senegal. The density and diversity of AMFs were determined by the wet sieving method. The morphological characterization and germinative capacity of cashew nuts were determined on a batch of 225 cashew nuts per production zone. An estimate of the mycorrhization rates of young cashew plants was carried out using mycorrhization tests with seven inocula from the LCM / Senegal collection, a mixture of inocula and a Control). The effect of the combination of inoculation and natural phosphate (PN) at different doses was determined on young cashew plants. The results obtained show that the average density of AMF spores is significantly higher in Ziguinchor (610 spores / 100g of soil) and lower in Kolda (211 spores / 100g of soil). These AMF spores belong to the genera: *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* and *Racocetra*. The morphological characterization of the nuts shows that those from Fatick presented the best morphological characters and those from Kolda the lowest values. The best germination rate was recorded by the Ziguinchor provenance (64, 62%) and the lowest by the Fatick provenance (23, 08%). Inoculation of young cashew nuts had a significant effect on mycorrhizal dependence, frequency and intensity of mycorrhization. The combination of inoculation and PN showed a significant effect on the diameter of the plants after two months of cultivation regardless of the origin. All the results obtained could be an important decision-making tool for improving the robustness of cashew plants.

Keywords: Cashew tree, Productivity, Arbuscular mychorizal fungi, Senegal

INTRODUCTION GENERALE

Dans les régions tropicales, comme partout ailleurs, les arbres fruitiers rendent de nombreux services écosystémiques que ce soit pour la sécurité alimentaire (nutrition et santé), le revenu des producteurs et pour le milieu (biodiversité, fertilité du sol, régulation du microclimat, etc.) (Bellon-Maurel et *al.*, 2019). La majeure partie des fruits en Afrique de l'Ouest est produite dans une diversité de petits vergers, 80% des producteurs possèdent moins de 2 hectares (Lowder et *al.*, 2016 ; Ndiaye et *al.*, 2021), dont la structure (densité de plantation, arrangement spatial des arbres, composition spécifique, etc.) est parfois complexe. En effet dans ces vergers on observe de faibles rendements en fruits et, bien souvent, des pratiques culturales inadaptées (de Bon et *al.*, 2014). C'est en cela que l'intégration dans les exploitations agricoles des espèces fruitières comme l'anacardier constitue un outil d'amélioration des conditions socio-économiques des producteurs (Bezerra et *al.*, 2007). Beaucoup de producteurs préfèrent s'investir dans ce domaine pour garantir leur sécurité alimentaire (Balogoun et *al.*, 2014), et améliorer leur source de revenu (Ndiaye et *al.*, 2017).

Par ailleurs, la région ouest africaine fait face à de nombreux changements à la fois démographiques, environnementaux et socio-économiques. L'agriculture doit ainsi répondre à la fois à ces changements globaux tout en garantissant la sécurité alimentaire et en s'adaptant au changement climatique (Ittersum et *al.*, 2016). Dans cette région, comme partout ailleurs, l'agrobiodiversité et plus particulièrement les arbres fruitiers contribuent significativement à cette résilience par leur nombreux services écosystémiques que ce soit pour la sécurité alimentaire (nutrition et santé), le revenu des producteurs et pour le milieu (biodiversité, fertilité du sol, régulation du microclimat, etc.).

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.), est un arbre fruitier tropical, originaire des Caraïbes et du Nord-Est du Brésil. Il est un des arbres fruitiers très cultivé aujourd'hui en Afrique du fait de sa valeur économique (Lawal et Jayeola, 2007). Cet arbre s'est très vite imposé dans les systèmes de production grâce à sa grande rusticité et ses faibles exigences pédologiques et climatiques » (Dugué et *al.*, 2003). Il est devenu très rapidement une culture d'exportation à partir des années 80 (Lautié et *al.*, 2001 ; Dugué et *al.*, 2003). Cette dynamique fiduciaire de la noix de cajou a entraîné la création tous azimuts de vergers d'anacardiers avec des semences non certifiées (Bezerra et *al.*, 2007).

En Afrique, entre 2011 et 2018, la production en noix brute est donc passée de 1 million de tonnes à 1,8 million de tonnes avec une croissance annuelle de 5,8 % dont la moitié est produite par la Côte d'Ivoire (Hien, 2019).

La noix qui est le principal produit commercial (Lacroix, 2003), est consommée sous formes « d’amuse-gueule » de la même manière que les arachides. L’amande a une forte valeur nutritive. Elle est riche en protéines, en Ca et P, en vitamines (B1, B2, D, E) et est indiquée pour les diètes plus délicates (Guissou, 2000). Elle est aussi utilisée dans plusieurs domaines dont l’agroalimentaire, le cosmétique, la médecine et l’industrie automobile (Aliyu et Awopetu, 2007 ; Soro, 2012). Le pédoncule gonflé, ou faux-fruit (pomme de cajou), peut aussi être mangé frais, séché, cuit pour confiture ou sirop, voire utilisé pour parfumer des boissons alcoolisées (ABIOMeT, 2017).

La pomme de cajou a en effet un apport calorique important, elle peut contribuer à l’équilibre nutritionnel. Elle est une excellente source de protéines, de vitamines et de minéraux qui peuvent contribuer aux bienfaits pour la santé de la population (Ndiaye et *al.*, 2022b).

Le jus de la pomme de cajou, gorgé de substances nutritives est riche en vitamine C. Il contient des minéraux, trois à six fois plus de vitamine C que le jus d’orange (Assunção et Mercadante, 2003 ; Adou et *al.*, 2012) et dix fois plus que le jus d’ananas (Ohler, 1988). Selon (Ndiaye et *al.*, 2022a) le jus brut de la pomme de cajou de la Casamance serait une importante source de minéraux comparée à d’autres fruits consommés en Afrique tropicale. Le jus sert aussi à fabriquer du sirop, des pâtes de fruits et des boissons alcoolisées (comme le jus cajou chez les diolas) (Ndiaye et *al.*, 2017). On peut aussi l’utiliser pour fabriquer du bioéthanol (Gbohaida et *al.*, 2015). La farine obtenue à partir de la pomme de cajou peut être encore transformée en couscous ou en bouillie. La pomme d’anacarde peut être aussi utilisée comme aliment pour le bétail mais aussi pour la volaille (Ndiaye et *al.*, 2020c). Vu son importance socio-économique et nutritionnel, il est aujourd’hui largement cultivé dans toutes les zones tropicales.

Au Sénégal, la filière anacarde joue un rôle socioéconomique très important, particulièrement dans la région naturelle de la Casamance, au sud du pays et dans Fatick, au centre. Elle génère de revenus considérables et crée des emplois, notamment pour les femmes rurales (USAID, 2006). Son introduction dans le pays, date de 1914 comme essence de reboisement (Totjssaint-Norlet et Giffard, 1961) et est aujourd’hui planté en vergers pour la production de noix.

La production nationale en noix de cajou brute en 2023 est estimée 160 000 T pour une valeur financière de 95 milliards de francs CFA (Sagna, 2024). Un producteur d’anacardes gagnerait en moyenne 600 000 FCFA / an (PADEC, 2016) contre 200 000 FCFA/ an pour les producteurs de bananes en Casamance avec une production nationale estimée à 30 000 tonnes (ANSD, 2018). Les principales zones de production au Sénégal, sont les régions de Ziguinchor, Sédhiou, Kolda et Fatick dont les trois premières régions couvrent 90 % de la production nationale de noix brutes (PADEC, 2016). Cependant, ce taux de production est plus lié à l’augmentation des

superficiés de plantations qu'à l'amélioration des rendements. Selon Samb *et al.* (2018b), de 1986 à 2017, les superficies des plantations de l'espèce sont passées de 910,55 km² à 1908,5 km² en Casamance avec une superficie moyenne de 2,6 ha par producteurs. Les rendements qui varient entre 250 kg/ha et 400 kg/ha (Ndiaye *et al.*, 2017) restent très en dessous de la moyenne mondiale (1,3 T/ha) et celui de l'Afrique (400 à 1 T/ha) (Dandjinou, 2016). L'amélioration de sa productivité est d'une nécessité indubitable dans le contexte actuel d'une économie régie par le marché. Car la faible productivité ne favorise pas l'émergence rapide de la filière anacarde au Sénégal. Au vu de cet état de fait, il devient donc urgent de réfléchir sur les solutions pouvant aider à améliorer la production de l'anacardier du Sénégal.

C'est dans ce sens que la filière a attiré l'attention de l'État du Sénégal à travers son Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise (PRACAS) qui est le volet agricole du plan Sénégal émergent (PSE). Le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique à travers son Fonds d'Impulsion à la Recherche Scientifique et Technologique (FIRST) a donc retenu et financé le projet portant sur « l'amélioration de la production de l'anacardier dans la région de Sédhiou », projet dans lequel est effectué ce travail.

Il faut noter, qu'après la deuxième révolution industrielle, les pratiques agricoles traditionnelles se sont déplacées vers l'utilisation d'engrais et de pesticides chimiques de synthèse pour améliorer la production agricole (Melillo, 2012 ; Dixon, 2018). L'utilisation intensive de ces produits agrochimiques a entraîné la détérioration de la qualité du sol ainsi que de l'environnement (Meena *et al.*, 2017). L'horticulture moderne est confrontée à deux objectifs contradictoires, tels que la nécessité de produire de la nourriture saine pour la population mondiale croissante et de minimiser les dommages à l'environnement, ce qui peut à son tour avoir un impact négatif sur les systèmes de production (Duhamel et Vandenkoornhuysse, 2013). Une solution possible pour atténuer certains de ces problèmes pourrait être le développement de pratiques agricoles durables (Owen *et al.*, 2015) qui exploitent les microbiomes associés aux cultures. Ceci permettrait aux scientifiques et aux industries horticoles de contribuer significativement à l'augmentation et au maintien des rendements plus élevés tout en préservant la santé et la fertilité globales des sols (Touré *et al.*, 2018 ; Singh *et al.*, 2020).

Au cours de la dernière décennie, plusieurs innovations technologiques ont été proposées afin d'améliorer la durabilité des systèmes de production grâce à une réduction significative des produits chimiques. Un outil prometteur et efficace serait l'utilisation de « biostimulants ». Le terme biostimulants, souvent utilisé au pluriel (Rouphael *et al.*, 2015), désigne un groupe de composés qui n'agissent ni comme engrais ni comme pesticides, mais qui ont un impact positif

sur les performances des plantes lorsqu'ils sont appliqués en petites quantités (Calvo Velez et *al.*, 2014).

Par ailleurs, les biofertilisants tels que les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMAs) sont utilisées pour améliorer la fertilité des sols. Ces engrais naturels sont très utiles pour la santé des sols ainsi que pour la croissance et le développement des plantes (Sadhana, 2014). Différentes études menées sur les CMAs au cours des deux dernières décennies ont mis en évidence leurs innombrables avantages sur la santé des sols et la productivité des cultures. Par conséquent, il est largement admis que les CMAs pourraient remplacer les engrais inorganiques dans un proche avenir, car l'application mycorhizienne peut réduire efficacement l'utilisation quantitative de l'apport d'engrais chimiques, en particulier de phosphore (Ortas et *al.*, 2013). C'est dans le cadre de l'utilisation de ces outils agro écologiques nouveaux pour l'amélioration de la productivité de l'anacardier que les travaux de cette thèse ont été mis en place. L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'amélioration productivité de *Anacardium occidentale* par l'utilisation des champignons mycorhiziens arbusculaires.

Il s'agit de :

- Déterminer la densité et la diversité des champignons mycorhiziens à arbuscules présentes dans les plantations d'*Anacardium occidentale* ;
- Comparer les paramètres morphologiques et la capacité germinative des noix de cajou (*Anacardium occidentale* L.) dans les différentes zones de production du pays ;
- Évaluer les taux de mycorhisation des jeunes plants d'anacardier issus des noix des différentes zones de production du pays et
- Comparer les performances des plants de différentes provenances d'anacardier inoculés et des plants non inoculés avec ou sans apport de phosphate naturel.

Cette thèse est structurée en cinq (5) chapitres, le premier présente la synthèse bibliographique, le deuxième et le troisième abordent respectivement la densité et la diversité des champignons mycorhiziens à arbuscules présentes dans les plantations d'*Anacardium occidentale* et la comparaison des paramètres morphologiques et la capacité germinative des noix de cajou dans les différentes zones de production du pays, le quatrième chapitre traite l'évaluation des taux de mycorhisation des jeunes plants d'anacardier issus des noix des différentes zones de production du pays, et le cinquième chapitre présente la comparaison des performances des plants de différentes provenances d'anacardier inoculés et des plants non inoculés avec ou sans apport de phosphate naturel.

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Généralités sur l'anacardier

1.1.1. Origine et classification systématique

L'anacardier (**Figure 1**) est un arbre originaire des Caraïbes et du nord-est du Brésil (Liaotrakoon et *al.*, 2016 ; Havik et *al.*, 2018 ; Duangjan et *al.*, 2021). Il a été longtemps cultivé par les peuples indigènes avant sa découverte par les portugais qui l'on introduit plus tard dans les colonies africaines (Adou et *al.*, 2012). Le mot « *Anacardium* » est d'origine grecque et signifie « cœur inversé » en allusion à la forme du fruit (Oliveira et *al.*, 2020). Le fruit est connu sous les noms, d'acajou, de cajou ou pomme de cajou en français, de *cashew tree* en anglais, darcassou, darkasé ou darkasu (en Wolof au Sénégal) (Lacroix, 2003).



Figure 1 : Arbre sur pied de *Anacardium occidentale* (crédit photo, Thiocone 2021)

C'est une espèce diploïde de type $2n = 24$ appartenant au groupe des angiospermes, à la classe des dicotylédones, à l'ordre des Sapindales et à la famille des Anacardiaceae (Lacroix, 2003).

Il existe plus de soixante genres et quatre cents espèces liées à la famille des *Anacardiaceae* (Borges, 2021). Le genre *Anacardium* compte 6 espèces : (*Anacardium giganteum* L. ; *Anacardium parvifolium* L. ; *Anacardium tenuifolium* L. ; *Anacardium spruceanum* L. ; *Anacardium excelsum* L. et *Anacardium occidentale* L.) tous natives de l'Amérique latine (Detienne et Jacquet, 1983).

Les premières introductions de l'anacardier dans les côtes Ouest africaines dateraient du 15^e siècle par les navigateurs portugais, afin de fixer les dunes, mais aussi comme plante

d'agrément (Goujon *et al.*, 1973). Au Sénégal l'anacardier a été introduite vers les années 1914 (Totjssaint-Norlet et Giffard, 1961). De cette période à 1945, l'anacardier a été disséminé dans le Cap-Vert (actuel Dakar), le Sine-Saloum (actuel Kaolack et Fatick) et une partie de Thiès. En Casamance, c'est l'arrivée massive de réfugiés, suite à la guerre d'indépendance (1970-1974) de Guinée-Bissau, qui, par leur maîtrise de la culture, installent les premiers vergers dans la région (Ndiaye, 2020).

1.1.2. Description botanique de l'anacardier

L'anacardier est un arbre qui peut atteindre une hauteur de 5 à 15 m ou plus avec un diamètre de cime de 12 – 14 m, ou jusqu'à 20 m dans des conditions favorables à sa culture. Lorsqu'il est propagé sexuellement, il commence à fleurir entre 24 et 36 mois après la plantation (Babatunde *et al.*, 2023). Il a une racine principale pivotante et peut atteindre plus de 5 m de profondeur avec des ramifications racinaires latérales importantes (Carr, 2014). Ses racines latérales, très développées, s'étendent souvent loin autour de l'arbre.

Son tronc est court et tortueux; l'écorce rugueuse, grise, à tranche rosé; branche plus ou moins pubescente, grise à brune (OOAS, 2020). Ces feuilles sont simples de couleur vert foncé, persistantes, alternes, ovales, coriaces et possèdent une cuticule épaisse avec des nervures saillantes. La face supérieure de la feuille mesure 10 à 20 cm de longueur sur 5 à 10 cm de largeur avec des pétioles d'environ 0,5 à 1 cm longueur (Babatunde *et al.*, 2023). L'anacardier est une plante andromonoïque ; ayant des fleurs hermaphrodites et des fleurs mâles sur le même panicule (**Figure 2**) (Sharma, 2018).

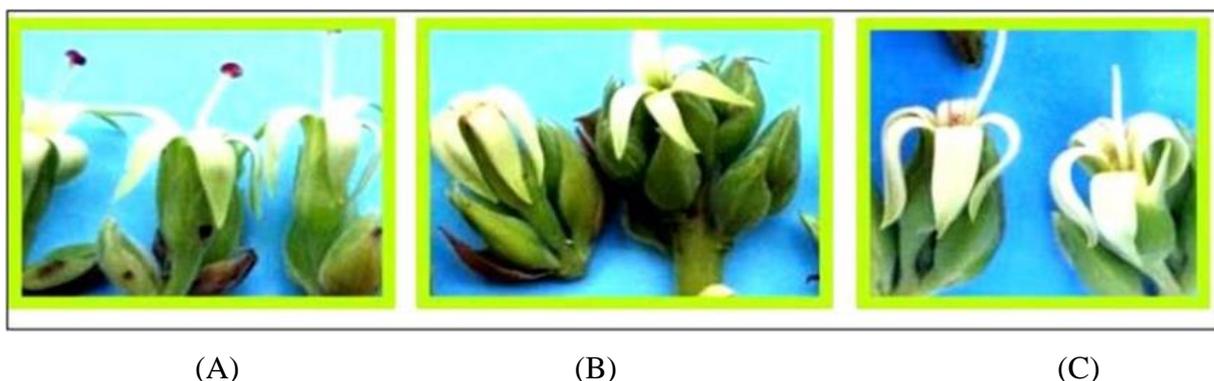


Figure 2 : Les différents types de fleurs d'anacardier : (A) = Fleurs mâles, (B) = fleurs stériles et (C) = Fleurs hermaphrodites (Salifou et Masawe, 2018)

Les fleurs sont de couleur blanches teintées de rose apparaissent au cours de la saison sèche; elles sont de petite taille, parfumées et réunies en inflorescences terminales. La quantité de fleurs sur chaque panicule varie selon les régions (Solanki *et al.*, 2015) et le milieu environnant

en raison de changements d'altitude, d'humidité, de température et précipitations. Elle est donc allogame, ce qui rend difficile le processus de sélection en faveur de l'amélioration de cette plante.

Le fruit de la noix de cajou comprend : la « pomme de cajou», qui est un pseudo-fruit formé par un pédoncule élargi, charnu et juteux, qui ressemble à un poivron de couleur jaune, orange ou rouge avec une taille allant de 5-7cm de longueur (Tandjiekpon, 2005); le vrai fruit, est un akène en forme de rein (réniforme) et située sur l'extrémité du faux fruit (**Figure 3**). Elle mesure environ 3 cm de long avec un péricarpe gris-vert et très dur (Bezerra et al., 2007).

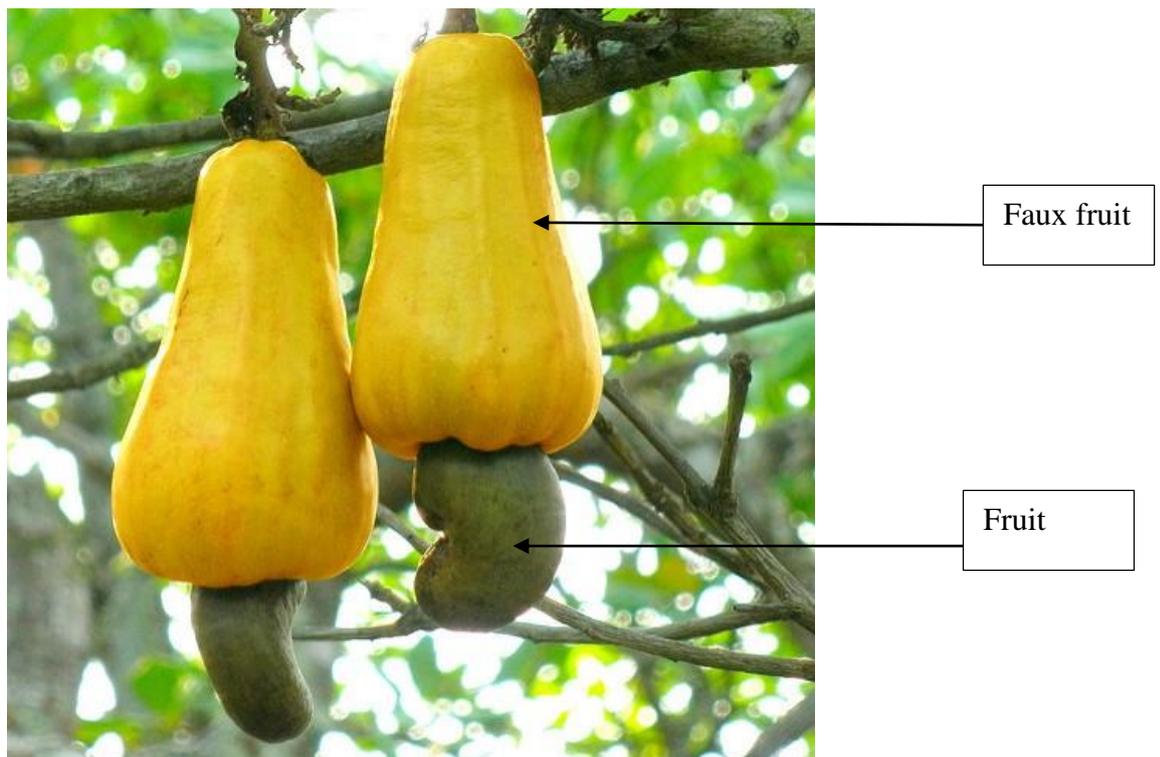


Figure 3 : Fruit de l'anacardier

1.1.3. Écologie de l'anacardier

L'anacardier est adapté au climat tropical humide où l'environnement et les conditions sont souvent caractérisés par une faible fertilité du sol, une faible et/ou des précipitations irrégulières (Bezerra et al., 2007). Il résiste aux fortes chaleurs, mais est sensible aux baisses de températures. Pour cette raison, on le rencontre souvent à une altitude inférieure à 500 m, parfois jusqu'à 1.000 m en situations privilégiées et chaudes. L'arbre préfère des précipitations annuelles comprises entre 1000 à 2000 mm et une saison des pluies qui dure entre quatre à six mois pour assurer une production optimale (Coly, 2017). Selon, Rupa et Bhat (2010), la température optimale de production est comprise entre 22 et 32°C. Cependant, la température optimale pour la germination des graines est d'environ 35 °C (Dedzoe et al., 2001). Grâce à la

présence d'un système racinaire pivotant, les racines de l'anacardier peuvent extraire l'eau des couches profondes et survivre aux saisons sèches. Au Sénégal, les phases de floraison et de fructification de l'anacarde coïncident avec la saison sèche. Le stress hydrique pendant ces périodes de croissance affecte négativement la floraison et la nouaison, entraînant la chute des noix et une réduction du rendement en impactant le nombre relatif de fleurs mâles et hermaphrodites (Carr, 2014). De plus, la croissance et le développement de la culture dépend considérablement du type de sol et de sa qualité : bien que la noix de cajou pousse sur une large gamme de sols, les sols à texture légère à moyennement légère, profonds et bien drainés sont généralement les meilleurs. Joker (2003), rapporte que les sols sableux ou sablolimoneux sont les mieux indiqués pour la production d'anacarde compte tenu du fait qu'ils sont généralement profonds et drainent bien l'eau. Pour une meilleure productivité des arbres, les sols à pH moyennement acides, (pH : 5,13 à 6,92) (ITRA, 2021), sont les plus favorables (Doucet, 2006). L'action du pH sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols crée un milieu favorable à l'alimentation minérale et à la croissance des plantes. Les travaux de Ndiaye et *al.* (2020), ont montré que la majorité des sols sur lesquels est produit l'anacarde en Casamance (Sénégal) a un pH moyennement acide (pH = 5,16). Dans la zone soudano-sahélienne, un sol d'une teneur en matière organique de 1,5% d'humus voir 2% et plus, est un sol relativement pourvu en humus (Huber et Schaub, 2011). Même si dans plusieurs zones consacrées à la culture de l'anacardier, comme au Sénégal, la teneur en matière organique peut être inférieure à 1 % (Ndiaye et *al.*, 2020b). Dans un tel contexte, la fertilité du sol est généralement très faible, car la teneur en matière est souvent corrélée à une faible teneur en azote et en phosphore disponible dans les sols. Cependant, ces problèmes peuvent être résolus par de saines pratiques de gestion, car la noix de cajou répond positivement à l'azote, au phosphore et à l'application de soufre (O'Farrell et *al.*, 2010). Il a été démontré que la salinité altère le potassium métabolisme en fonction du substrat et de la durée du stress (Viégas et *al.*, 2004), ainsi que le métabolisme de l'azote, comme il réduit l'activité des enzymes impliquées dans la réduction des nitrates (Viégas et *al.*, 2004). Les CMAs colonisant les racines se sont avérées améliorer la croissance des plantes en améliorant la nutrition en phosphore. Cependant, il existe encore peu d'études explorant les CMAs associés aux plantes d'anacardier; par conséquent, des recherches supplémentaires devraient être entreprises afin de mieux comprendre l'influence des facteurs environnementaux sur les spores, leur densité, leur distribution, leur établissement et leur survie avec les objectifs de production d'inoculum à grande échelle.

1.1.4. Multiplication de l'anacardier

Il existe deux méthodes principales adoptées pour cultiver la noix de cajou : la première, et la plus répandue dans le monde, consiste à faire un semis direct sur le terrain. Ceci est généralement préféré à la deuxième, qui consiste à repiquer des plants de pépinières. Les semis ont un système racinaire délicat sur lesquels le repiquage peut avoir un impact négatif (Azam-Ali et Judge, 2001). Au Sénégal, plus particulièrement en Basse Casamance, le semis direct et en pépinière sont les deux modes de semis utilisés (Ndiaye et *al.*, 2017). Le greffage (exemple : par écussonnage), le marcottage et le bouturage de branches aoûtées peuvent être aussi pratiqués. Puisqu'il s'agit d'une culture à pollinisation croisée, la propagation végétative est recommandée pour obtenir une descendance identique à l'arbre mère (Asogwa et *al.*, 2008).

1.1.5. Fertilisation

La réponse de l'anacardier à l'application d'engrais chimique a été prouvée dans plusieurs études (O'Farrell et *al.*, 2010). L'effet de l'application d'azote sur l'augmentation du rendement en noix a été observé lorsqu'il est appliqué pendant le stade de croissance végétative. Alors que pour le phosphore et le soufre, les applications se sont avérées avoir un effet positif sur la croissance et la production de noix d'anacardier (Grundon, 1998). La réponse au potassium est encore controversée (Grundon, 1998). Selon les travaux de Panda (2013), pour un rendement annuel moyen de 5–10 kg de noix/arbre, il recommande d'appliquer 500 g de N, 125 g P₂O₅ et 125 g K₂O par arbre annuellement en deux doses fractionnées. Autres mélanges d'engrais inorganiques sont également rapportés dans la littérature, en fonction de l'âge et du stade de croissance de la plante. Ghosh et Bose (1986) ont constaté que des rendements plus élevés de noix de cajou ont été obtenues avec une combinaison de N, P₂O₅ et K₂O équivalent respectivement à 200, 75 et 100 g/plant/an. Subramanian et *al.* (1995), au lieu de cela, ont rapporté l'application de 250, 125 et 125 g/plant/an de N, P₂O₅ et K₂O, respectivement, a été adopté pour augmenter de manière significative le rendement de plants de cajou de 15 ans. Concernant le type d'engrais, il existe des preuves expérimentales que, lorsqu'il est fertilisé avec une source de NPK inorganique (15 : 15 : 15) et engrais organiques, les plants de cajou répondent mieux à ces derniers sous forme de vache crottes de fumier et de volaille. Ces types de fumier, en fait, contiennent d'autres macro et micronutriments comme le calcium et magnésium, qui ne sont pas disponibles à partir de sources inorganiques. De plus, le fumier libère lentement de l'azote limitant ainsi le lessivage et l'acidification et peut améliorer la structure du sol et la teneur en eau (Ipinmoroti et *al.*, 2011).

1.1.6. Importance socio-économique de l'anacardier

L'anacardier est une plante aux multiples vertus. Plusieurs études ont montré l'importance nutritionnelle des noix et de la pomme, ainsi que leur apport économique (Havik et *al.*, 2018 ; Ndiaye et *al.*, 2022). La noix de cajou en tant qu'aliment joue un rôle important dans la vie d'une nation (Sumadi et *al.*, 2020). Elle fait partie des principales noix comestibles avec une demande croissante sur le marché mondial (Tola et Mazengia, 2019). La noix est dure et se compose de la coque, de l'amande et du liquide de la coque de cajou CNSL (Cashew Nut Shell Liquid). L'industrie de la noix de cajou produit divers sous-produits, notamment le CNSL, la pomme de cajou et le testa de noix de cajou (Sharma et *al.*, 2020).

L'amande (**Figure 4**) est la partie la plus prisée de la noix car elle est riche en graisses et en protéines (Guedes-Oliveira et *al.*, 2016). Elle est utilisée pour fabriquer des cacahuètes, et parfois comme substitut du lait en poudre dans la fabrication du chocolat (Ogunwolu et *al.*, 2009). Les noix contiennent de nombreux composés bioactifs dotés de propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires (Trevisan et *al.*, 2006 ; Andrade et *al.*, 2011).



Figure 4 : Amande de noix de cajoux transformée en amuses bouche
(<https://acasen.com/produit/amande-de-cajou>)

Le CNSL est un sous-produit de la noix de cajou très apprécié contenant du cardanol et de l'acide anacardique (Viswanath et *al.*, 2016 ; Vieira et *al.*, 2021). Ces composés ont diverses propriétés biologiques. De nombreuses études ont rapporté les bienfaits des acides anacardiques pour la santé. Tandis que la coque est souvent utilisée pour produire de l'énergie (CNCL) par pyrolyse (Godjo et *al.*, 2015). Le CNSL est très acide, corrosif, riche en composés phénoliques (Gaitán-Jiménez et *al.*, 2022 ; Cruz Reina et *al.*, 2023) et est utilisé pour plusieurs applications dans l'industrie cosmétique et/ou pharmaceutique.

La pomme généralement consommée par les populations locales est juteuse et souvent transformée en jus (Prasertsri, 2017), en confiture, en vin, en vinaigre et en alcool (Dedehou et *al.*, 2015). La principale voie de valorisation envisagée pour la pomme de cajou reste sa transformation en jus (**Figure 5**).



Figure 5 : Jus de pomme de cajou (<https://timolokoy.com/blog/wp-content/uploads/2020/06/timolokoy-jus-pommes-cajou-05.jpg>)

Cependant, pour des difficultés de conservation et en raison de son goût astringent, sa consommation est parfois limitée dans certaines régions. Cette consommation restreinte s'explique aussi par certains préjugés comme son incompatibilité avec le lait (Dedehou et *al.*, 2016). Le jus de la pomme de cajou est réputé riche en vitamine C. Selon Ndiaye et *al.* (2022a), la teneur en vitamine C du jus brut de cajou de la Casamance varie entre 2700 à 3000 mg.kg. Cette teneur en vitamine C obtenue est de loin supérieure à celle obtenue chez l'oranger (450 à 563 mg / kg) et l'avocatier 79 mg / kg (Fu et *al.*, 2011). Le jus de cajou bruts de la Casamance contiennent plus de vitamine C que la dose journalière recommandée pour un adulte qui est de 110 mg (Haberfeld, 2023). Il est aussi riche en d'autres éléments minéraux tels que le phosphore, le magnésium, le calcium et le fer. Les travaux de Ndiaye et *al.* (2022a) ont montré la teneur importante du jus de la pomme de cajou de la Casamance en phosphore, en magnésium, en calcium et en fer comparé à d'autres fruits réputés de leur teneur en ces éléments minéraux.

La pomme de cajou est connue pour avoir de grandes quantités d'acide ascorbique (Silva et *al.*, 2013) et de caroténoïdes en plus des composés phénoliques, tels que les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins (Michodjehoun-Mestres et *al.*, 2009 ; Bataglioni et *al.*, 2015 ; Cunha et *al.*, 2017). La pomme de cajou est une source de polyphénols, de vitamines et de minéraux (Das

et Arora, 2017 ; Ndiaye et al., 2022). Ainsi ils jouent un rôle très important dans la prévention des maladies cardio-vasculaires et d'autres pathologies chroniques. Les travaux coordonnés par (IRD et USDA, 2012) ont recensé dans le bassin du fleuve Gambie, en Casamance et en Guinée Bissau, près d'une cinquantaine de recettes culinaires à base de pomme de cajou. L'importance thérapeutique et nutritionnelle des feuilles, écorces, racines, noix, pomme, et leurs dérivés a été démontrée (Hamad et Mubofu, 2015 ; Salehi et al., 2019).

Les extraits de racines, de tiges et de fruits sont largement utilisés en médecine populaire pour les états de stress infectieux, inflammatoires et oxydatifs (Olajide et al., 2013 ; Ajileye et al., 2015 ; Ndiaye et al., 2022b). La médecine traditionnelle en Afrique de l'Ouest et en Amérique du Sud utilise l'infusion de feuilles dans le traitement des troubles gastro-intestinaux (Onoja et al., 2019). Les métabolites secondaires présentés dans les plantes d'*A. occidentale* montrent qu'ils présentent des propriétés antioxydantes (Salehi et al., 2019 ; Fusco et al., 2020 ; Siracusa et al., 2020), anti-inflammatoires (Fusco et al., 2020 ; Siracusa et al., 2020) et antimicrobiens (Salehi et al., 2019).

La production de cajou a une valeur importante pour les petites agriculteurs des pays émergents et un immense potentiel de sous-produit dont l'exploitation peut ajouter de la valeur à l'agro-industrie de l'anacarde (Oliveira et al., 2020). Cette noix est la troisième noix comestible la plus produite au plan mondial après l'arachide et l'amande (Kolliesuah et al., 2020). L'augmentation de sa consommation et des utilisations de ses sous-produits accroissent sa demande par rapport aux autres fruits à coque (Adesanya et al., 2021). Les dernières tendances montrent un taux de croissance mondiale de 7 à 10% par an avec une demande estimée à 4,5 millions de tonnes en 2023-2024 (Adesanya et al., 2021). Sa demande croît plus vite que son offre depuis 2014. En effet, depuis 2014, où l'offre et la demande se sont rencontrées et équivalaient à environ 3 000 000 T, les tendances sont à la hausse et la demande a été estimée à un peu plus de 4 200 000 T pour une offre d'environ 3 500 000 T à l'horizon 2020 (Gbaguidi, 2020). Ces indications sont des facteurs motivants pour les pays producteurs. Cette croissance s'accompagne d'une augmentation de la compétition sur le marché africain du fait de la baisse de la production en Asie et en Amérique latine (GIZ/ComCashew, 2019). Le continent africain produit plus de 55% de l'offre mondiale (N'djolosse et al., 2020) et l'Afrique de l'Ouest en est devenue le principal pôle de production. Elle fournit constamment au moins 90% de l'offre africaine (Gbaguidi, 2020).

Au Sénégal, la filière anacarde suscite un grand intérêt de la part des producteurs. Les revenus issus de l'anacardier permettent aux producteurs de subvenir à leurs besoins (Ndiaye et al.,

2017). L'année 2023 a été très exceptionnelle, en ce qui concerne la production de la noix de cajou au Sénégal. Selon Boubacar Konta, président de l'Interprofession Cajou du Sénégal (ICAS), environ 160.000 tonnes de noix ont été produites pour une valeur financière de 95 milliards de francs CFA (Sagna, 2024). Les revenus issus de la vente des noix couvrent en moyenne 60 % des besoins des producteurs pendant un an (Ndiaye et *al.*, 2017). Les superficies emblavées par la culture de la noix de cajou au Sénégal sont passées de 944,68 km² en 1986 à 3360,47 km² en 2017 (Samb et *al.*, 2018b). Cette évolution s'explique par le prix incitatif de la noix qui ne cesse d'augmenter. Le prix de la noix est passé de 25 francs (1987), 185 francs (1998), 400 francs (2007) à 900 francs en 2017 (Samb et *al.*, 2018b). La filière contribue au pouvoir d'achat de 352 725 personnes dépendantes de la filière (ONUUDI, 2016).

1.1.7. Les contraintes de la production de l'anacardier

Malgré l'importance de la culture de la noix de cajou, la culture est cependant soumise à plusieurs contraintes qui compromettent le rendement en noix de cajou du point de vue quantité et qualité (Viana et *al.*, 2007). Les infestations de ravageurs et de maladies continuent de limiter la production de noix de cajou en Afrique de l'Ouest. D'autres facteurs tels que, la faible fertilité des sols, la non-disponibilité de matériel végétal amélioré et une base génétique étroite (Catarino et *al.*, 2015 ; Adeigbe et *al.*, 2015 ; Dadzie, 2020) limitent l'accroissement de la filière anacarde. La plupart des pays producteurs de noix de cajou en Afrique de l'Ouest ont des pools génétiques avec des ressources génétiques relativement étroites. De plus, les graines à pollinisation libre de races sauvages et primitives étaient utilisées pour établir la majorité des fermes existantes. Au moment où, l'Afrique de l'Ouest n'a pas de dossiers publiés de noix de cajou hybride améliorée que l'on trouve dans d'autres régions productrices.

Au Sénégal, la plupart des terres abritant les plantations d'anacardier n'ont pas fait l'objet d'une délibération donc non immatriculées (Ndiaye et *al.*, 2017). C'est la raison pour laquelle, l'accès au crédit reste limité par le fait que la Banque Agricole qui accompagne les agriculteurs n'accorde pas un prêt qui dépasse la durée de campagne agricole. Ces prêts ne doivent en aucun cas dépasser 7 mois (Ndiaye, 2013). Malgré l'intervention de plusieurs projets ou programmes dans l'amélioration de la productivité des plantations d'anacardiens, la filière anacarde souffre encore de nombreuses difficultés à cause des rendements faibles et les difficultés de commercialisation (Ndiaye et *al.*, 2021). La faible production notée dans la plupart des plantations serait due à l'utilisation des variétés peu productives, et à l'absence de fertilisation des terres. A cela s'ajoute la densité élevée dans les plantations d'anacardier (Ndiaye et *al.*, 2017).

Les travaux de (Ndiaye et *al.*, 2021) ont montré que la disponibilité de semences de qualité pour la mise en place de nouvelle plantation ou la réhabilitation des anciennes constitue 40,1% des préoccupations des producteurs. Entre autres préoccupation, on peut citer l'entretien des plantations et les feux de brousse qui représentent respectivement 29,6% et 20,8% des contraintes. Et enfin, le vol armé représente (7,5%) et l'assistance technique (2,1%).

1.2. Généralités sur les mycorhizes

1.2.1. La symbiose mycorhizienne

Les mycorhizes (du grec *myco* = champignon et *rhiza* = racine) sont des « unions durables » résultant de l'association symbiotique entre les racines des végétaux et certains champignons du sol (Boostani et *al.*, 2014). La symbiose mycorhizienne est avantageuse pour les deux organismes impliqués (Hodge et Storer, 2014). Elle est primordiale dans tout ou une partie du cycle de la plante hôte surtout mais non exclusivement pour la nutrition. Le champignon profite des ressources carbonées synthétisées par la plante *via* la photosynthèse et qui sont indispensables à son métabolisme, à son cycle de développement et à sa fructification. Le champignon peut consommer jusqu'à 20% des produits de la photosynthèse (Bago et *al.*, 2003) En retour, les hyphes fongiques du champignon améliorent la nutrition hydrique et minérale de la plante hôte grâce à l'augmentation du volume de sol prospecté et à la production de divers enzymes extracellulaires (ex : phosphatase, phytase) susceptibles de mobiliser du phosphore à partir de composés organiques du sol (Taktek, 2015). L'association mycorhizienne est très répandue puisqu'elle concerne plus de 80% des plantes terrestres (que ce soit angiospermes, gymnospermes, ptéridiophytes) à l'état naturel (Hause et Fester, 2005). Cette association est la plus importante dans les différents écosystèmes de notre planète en termes d'individus concernés et en termes d'impact sur les écosystèmes (Mohammadi et *al.*, 2011 ; Lalitha et *al.*, 2017).

1.2.2. Diversité des associations mycorhiziens

Sur la base de la morphologie et de la structure des mycorhizes , on distingue sept différents types de mycorhizes (Varma et Kharkwal, 2009). Il s'agit des mycorhizes à arbuscules, des ectomycorhizes, des ectendomycorhizes, des mycorhizes éricoïdes, des mycorhizes arbutoïdes, des mycorhizes orchidoïdes et des mycorhizes monotropoïdes. Ces différents types de mycorhizes ont un point commun : celui de réunir deux partenaires bien organisés au niveau cytologique et se montrant mutuellement utiles (Strullu et *al.*, 1991). Mais les plus étudiées sont les ectomycorhizes et les endomycorhizes à vésicules et arbuscules (VA) ou mycorhizes à arbuscules (MA). Elles se distinguent les unes des autres non seulement par les groupes

taxonomiques des partenaires symbiotiques impliqués, qu'ils soient végétaux ou fongiques mais aussi par les structures typiques formées lorsque la symbiose est fonctionnelle (Guzzon, 2014). Nous décrivons les deux types de mycorhizes les plus répandues dans les écosystèmes naturels et anthropisés.

Les ectomycorhizes

Les ectomycorhizes sont datées d'environ 250 millions d'années. Ce type de mycorhize est rencontré majoritairement dans les régions boréales et tempérées et rarement dans les régions tropicales (Smith et Read, 2008). Le mycélium du champignon forme un manchon autour de la racine appelé manteau fongique d'où partent des hyphes extramatriciel explorant un grand volume de sol. Le manchon d'hyphes fongiques très enlacés forme une croûte à la surface des racines (Ricklefs et Miller, 2005). Le champignon occupe les espaces intercellulaires et forme ainsi le réseau de Hartig (Hopkins, 2003). C'est le lieu des échanges nutritifs entre les deux partenaires. Les hyphes ne pénètrent pas à l'intérieur des cellules végétales et se trouvent entre les parois des deux partenaires (Wang et Qiu, 2006). Chez les résineux, les hyphes du réseau de Hartig colonisent plusieurs couches de cellules du cortex tandis que chez les feuillus le réseau se développe uniquement dans la première couche de cellules du cortex qui présentent un allongement cellulaire. Le mycélium extramatriciel du champignon va également se développer dans le sol afin d'absorber les nutriments disponibles. Ces nutriments sont absorbés par le champignon et transférés à la plante (Fortin *et al.*, 2015). Cette symbiose implique 3 à 5% des familles de plantes vasculaires ligneuses pour l'essentiel et environ 25000 espèces de champignons appartenant aux basidiomycètes ou aux ascomycètes (Bâ *et al.*, 2013).

Les mycorhizes à arbuscules :

Il y a de cela environ 400 millions d'années que les premières plantes quittaient les milieux aquatiques pour venir coloniser la terre ferme (Galbrun et Charles, 2010). A cet effet, les plantes ont eu besoin des alliés pour réussir ce tour de force. C'est grâce à des associations avec des communautés microbiennes très denses autour de leurs racines (Garbaye, 2013), que les plantes ont réussi à survivre dans ce nouvel écosystème. Leur croissance dépendait des interactions qu'elles entretenaient avec le milieu environnant, notamment le sol et les microorganismes qu'il abrite. Parmi ces microorganismes figurent certains champignons qui sont des symbiotes des racines de plantes (Sahraoui, 2013). Cette association ou symbiose entre la plante et le champignon se nomme 'mycorhize'.

Les MA colonisent 80% des plantes vasculaires parmi lesquelles des Bryophytes, des Pteridophytes, des Gymnospermes et des Angiospermes. Après une phase de reconnaissance des deux partenaires, les spores du champignon émettent des hyphes qui se ramifient puis

traversent la paroi de la plante hôte et se logent dans l'espace périplasmique pour former des arbuscules où s'opèrent les échanges bidirectionnels entre les deux partenaires. Le développement des vésicules, lieu de stockage de lipides pour le champignon, est intercellulaire et parfois extracellulaire. Les hyphes se développent également à l'extérieur des cellules végétales pour former un réseau extramatriciel qui augmente le volume de sol exploré et d'où émergent de nouvelles spores pour boucler le cycle de développement du champignon (**Figure 6**).

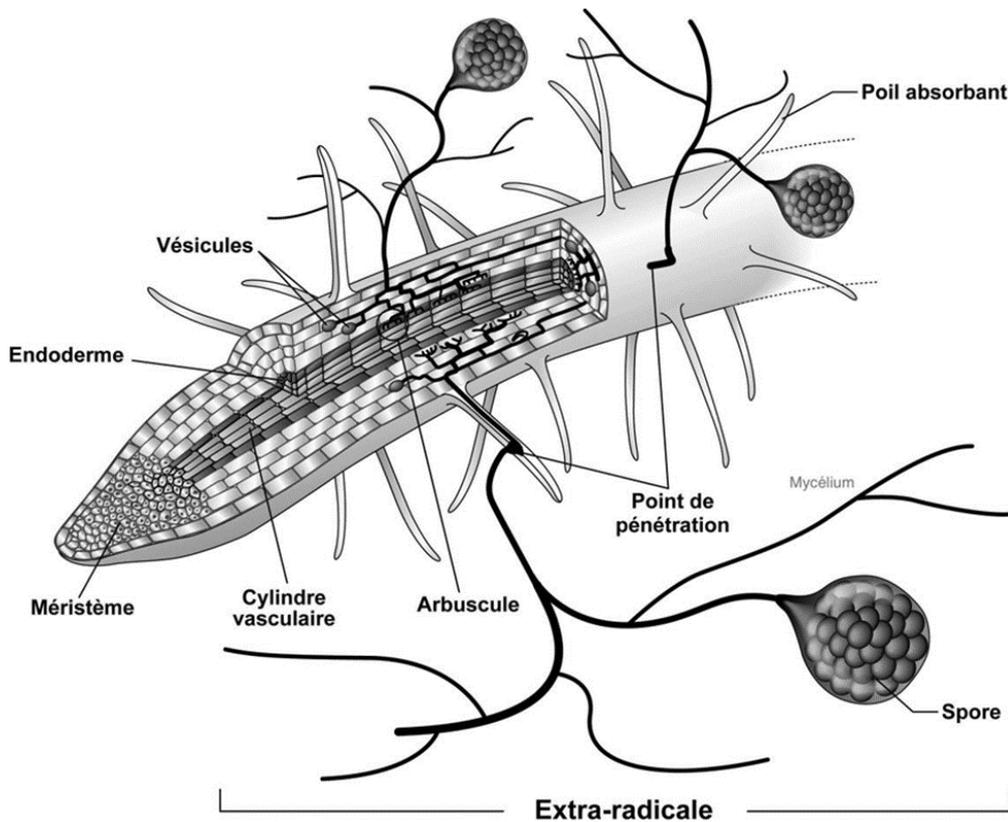


Figure 6: Structure d'une endomycorhize à vésicules et arbuscules (Fortin et *al.*, 2008)

Les champignons impliqués dans les MAs appartiennent tous à la classe des Glomeromycetes, un groupe de champignons à hyphes non cloisonnés proche des Mucoromycetes (Spatafora et *al.*, 2016). Leur phylogénie a changé plusieurs fois au cours des deux dernières décennies (Spatafora et *al.*, 2016). La plupart des CMAs appartenait au genre *Glomus*, mais avec la nouvelle taxonomie de nombreuses espèces du genre *Glomus* sont attribuées maintenant à d'autres genres (James et *al.*, 2020). Néanmoins, cet ordre des Glomérales, qui regroupe la plupart de ces genres, reste majoritaire dans les communautés CMAs avec plus de 70% des espèces.

Les CMAs appartiennent au phylum des Glomeromycota et sont considérés comme les symbiotes les plus répandus (Guttenberger, 2000 ; Wang et Qiu, 2006 ; Ansori et Gholami, 2015). Ce sont des symbiotes obligatoires ne pouvant se développer, ou être cultivés en laboratoire, sans une plante hôte assurant leur nutrition carbonée. Les CMAs sont des habitants

du sol formant des associations avec la grande majorité des espèces végétales (Stürmer et *al.*, 2018 ; Savary et *al.*, 2018). Ils jouent un rôle clé dans les processus du sol (par ex : structure du sol, cycles biogéochimiques) (Rillig, 2004 ; Simard et Austin, 2010), aident les plantes à acquérir des nutriments en échange de glucides (Abbott et Lumley, 2014) et les protègent des attaques biotiques (Smith et Read, 2008) et abiotiques (Plouznikoff et *al.*, 2016) Cette association intime permet l'échange de nutriments et les plantes fournissent jusqu'à 20 % du C fixé par la photosynthèse aux champignons et tirent des nutriments minéraux du partenaire fongique (Garcia et *al.*, 2016 ; Guerrero-Galán et *al.*, 2018 ; Lanfranco et *al.*, 2018).

1.2.3. Potentiel mycorhizogène du sol

Le potentiel mycorhizogène (PM) traduit la richesse d'un sol en propagules (spores, mycéliums, fragments de racines colonisés) aptes à générer une mycorhization (Sahri et *al.*, 2020). Il peut être déterminé par nombre le plus probable (MPN) (Alexander, 1965) et le potentiel infectieux mycorhizogène (PIM₅₀) (Plenchette et *al.*, 1989). La méthode du nombre le plus probable de propagules par 100g de sol. Il s'agit d'un test biologique reflétant la capacité d'un sol à initier la formation d'associations mycorhizienne à partir d'une quantité d'inoculum présente dans le sol sous forme de propagules, c'est-à-dire de spores, de mycélium et de débris de racines portant des vésicules (Plenchette et *al.*, 1989).

Le Potentiel Infectieux Mycorhizogène (PIM₅₀) d'un sol représente sa richesse en propagules susceptibles d'initier chez les plantes la formation d'associations mycorhizienne. Il permet de caractériser la quantité de sol non stérilisé nécessaire pour mycorhizer 50% de la plante (Plenchette et *al.*, 1989).

1.2.4. Techniques utilisées pour l'identification taxonomique et l'étude de la diversité des CMAs

L'utilisation des CMAs (les champignons mycorhiziens à arbuscules) en foresterie ou en agriculture durable nécessite la compréhension de la diversité et de la dynamique de ces champignons dans leur environnement naturel (Gianinazzi et *al.*, 2010). Les concepts utilisés dans la systématique des champignons mycorhiziens à arbuscules ont été principalement basés sur l'ontogénèse des spores et les caractéristiques morphologiques de la paroi des spores (Ruissen, 2013 ; Willis et *al.*, 2013). Cependant les caractères morphologiques variables, le mode de vie biotrophe obligatoire et l'absence de reproduction sexuée des CMAs rend difficile l'identification des espèces. L'identification des CMAs sur la base du morphotype est très complexe (Dickson, 2004). Durant les dernières décennies, la taxonomie classique, basée sur les observations morfo-anatomiques des spores (Morton et Benny, 1990), a profité des percées moléculaires à travers l'analyse moléculaire de l'ADN basée sur l'amplification des régions

ribosomiques (ex : 18S) par PCR pour mieux définir les espèces voire les taxons moléculaires (Schüßler et Walker, 2011).

1.2.4.1. Les techniques basées sur la morphologie pour l'étude de la diversité des CMAs

L'identification morphologique des CMAs est basée sur l'apparence générale de la spore (taille, couleur), sur les structures pariétales de la spore (nombre, épaisseur, nature de chaque paroi), sur la présence de caractéristiques propres à certains taxons (bouclier de germination, cellule sporogène bulbeuse : Gigasporaceae) et sur le mode de formation (ontogénie) de la spore (Morton et Bentivenga, 1994). L'étude de ces caractères morphologiques a permis de dresser les premières classifications (Morton et Benny, 1990), et d'évaluer la diversité des CMAs dans différents milieux. Certains caractères, tels que la couleur de la spore et son mode de formation, semblent aléatoires et peu informatifs d'un point de vue taxonomique (Blaszkowski et *al.*, 2015). Cependant, d'autres caractères morphologiques peuvent être retenus pour l'identification des spores de CMAs.

1.2.4.2. Les techniques basées sur la biologie moléculaire

L'identification moléculaire se base sur les séquences d'acides nucléiques des CMAs et nécessite de connaître les polymorphismes de séquences génomiques entre les espèces, et entre les isolats d'une même espèce. La première étude de détection des CMAs a porté sur l'amplification par réaction de polymérisation en chaîne (PCR) de fragments d'ADN réalisée par Simon et *al.*, (1992). Il existe plusieurs techniques basées sur l'amplification de l'ADN pour distinguer les CMAs les uns des autres. Parmi ces techniques, on retrouve : l'amplification de marqueurs dominants le «Random Amplified Polymorphic DNA»(RAPD), l'«Amplified fragment length polymorphism» (AFLP) et co-dominants le RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism), le «Denaturing Gradient Gel Electrophoresis» (DGGE) et le SSCP (Single-Strand Conformation Polymorphism), l'«Inter Simple Sequence Repeat» (ISSR) (Garcia et *al.*, 2004) ; le séquençage de régions nucléaires et / ou mitochondriales. Ces techniques permettent de découvrir le polymorphisme entre les espèces et les isolats par le patron de bandes obtenu lorsque l'ADN est amplifié avec des amorces aléatoires dans le cas du RAPD (Abbas et *al.*, 1996), avec des amorces ciblant les sites de liaison des enzymes de restriction dans le cas de l'AFLP (Vos et *al.*, 1995), des agents dénaturants dans le cas du DGGE (Hassan et *al.*, 2011) et avec des amorces microsatellites dans le cas de l'ISSR (Gherbawy et Voigt, 2010).

1.2.5. Effets des champignons mycorhiziens à arbuscules dans l'amélioration de la productivité des plants

Un des challenges auquel l'agriculture doit faire face aujourd'hui est de diminuer son utilisation d'intrants agricoles, que ce soit les fertilisants ou les pesticides, afin de diminuer les coûts ainsi que les impacts sur l'environnement et la santé (Yang et *al.*, 2014). Les champignons mycorhiziens s'inscrivent comme des vecteurs puissants dans le cadre de la transition agro-écologiques des pratiques agricoles (Malonda et *al.*, 2019). Elles regroupent en effet un ensemble de propriétés favorables aux plantes en général et aux cultures en particulier qui doivent être prises en compte pour promouvoir les approches agronomiques fondées sur la biodiversité et l'intensification des interactions agro-écologiques. Les CMA sont dès lors d'un grand intérêt agro écologique. Sur les aspects biologiques et agronomiques, les mycorhizes sont essentiels dans :

➤ Absorption de l'eau et des éléments minéraux

La fonction la plus étudiée chez les champignons mycorhiziens est celle de l'absorption de l'eau et des éléments minéraux du sol (Bi et *al.*, 2019 ; Ahmed et *al.*, 2020 ; Gupta, 2020 ; Hu et *al.*, 2022) en particulier ceux peu mobiles dans le sol tels que le zinc, le phosphore et le cuivre (Fortin et *al.*, 2015). Selon Ruiz-Sánchez et *al.* (2010), la symbiose mycorhizienne contribue à une meilleure nutrition hydrique et minérale suite à l'augmentation de la surface racinaire (Nakmee et *al.*, 2016 ; Zhang et *al.*, 2019 ; Quiroga et *al.*, 2020) par le développement d'un réseau extramatriciel d'hyphes de champignons mycorhiziens. Le phosphore qui est un élément important est souvent en faible concentration dans la solution du sol. Le phosphore intervient dans de nombreux processus métaboliques, notamment la biosynthèse des acides nucléiques et des membranes, la photosynthèse, la respiration et la régulation des enzymes des plantes (Siddiqui, 2006). Dans le sol, le phosphore est lié à la matière organique et à la fraction minérale du sol : les ions phosphates sont retenus dans les colloïdes ou souvent immobilisés sous forme de phosphate de fer ou d'aluminium (Gavériaux, 2012). Seule une infime partie se trouve sous forme d'ions orthophosphates (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-), unique forme assimilable par les racines des plantes, dans la solution du sol. On estime que 80% du phosphore absorbé par les plantes mycorhizées peut être fourni par les CMA. Dans certains cas, l'intégralité du P assimilé par la plante provient du CMA (Yang et *al.*, 2014). Les CMA sont capables de puiser les ions phosphatés solubles dans les interstices des agrégats du sol qui sont inaccessibles aux poils absorbants, puis de rendre ces ions disponibles pour les plantes (Smith et Read, 2008).

L'azote (N) est un nutriment essentiel nécessaire à la croissance des plantes (Nishida et Suzuki, 2018). Les CMA jouent un rôle important dans l'amélioration de la nutrition azotée. Les CMA induisent des transporteurs de NO_3^- et de NH_4^+ dans les plantes, affectant ainsi l'absorption de

ces minéraux par les plantes (Koegel et *al.*, 2013). Ils entraînent également des changements dans la composition des communautés microbiennes du sol en modifiant le développement de bactéries symbiotiques ou libres dénitrifiantes, nitrifiantes et diazotrophes, qui à leur tour affectent l'absorption de N et la disponibilité ultérieure de N pour les plantes (Veresoglou et *al.*, 2011).

Le potassium, qui est le troisième élément le plus important chez les plantes. Il améliore la qualité de remplissage des grains et l'augmentation de leurs poids. Le potassium augmente aussi la résistance des plantes contre les maladies et les ravageurs ainsi qu'à l'amélioration de la résistance aux stress (Meena et *al.*, 2015). Cet élément est très abondant dans la majorité des sols mais sa biodisponibilité est très faible à cause de sa forte adsorption. La symbiose mycorhizienne joue un rôle important dans la solubilisation des formes minérales de potassium en favorisant la libération de H⁺ ou du CO₂ et des anions tels l'oxalate, le malate et le citrate (Dominguez-Nuñez et *al.*, 2016).

Cette amélioration de la nutrition minérale a pour effet d'augmenter la vigueur des plantes ainsi que leur croissance aérienne et racinaire. Étant généralement plus vigoureuses, les plantes colonisées pourraient mieux résister ou tolérer les maladies et les conditions environnementales extrêmes.

➤ Protection contre les stress biotiques et abiotiques

Les CMA facilitent non seulement l'absorption des nutriments, mais augmentent la tolérance des plantes aux divers stress biotiques et abiotiques (Porcel et *al.*, 2012 ; Bada et Fagbola, 2014 ; Lehmann et *al.*, 2014 ; Augé et *al.*, 2015). Plusieurs auteurs ont montré que la lutte biologique, basée sur l'utilisation des organismes naturels antagonistes des agents phytopathogènes, pourrait constituer une solution prometteuse. L'utilisation des CMA comme agents de lutte biologique a été réalisée sur une large gamme d'espèces végétales et contre de nombreux agents pathogènes (Azcon-Aguilar et *al.*, 2009). Les CMA peuvent protéger les plantes contre un grand nombre d'agents pathogènes et de parasites, principalement à travers des changements dans la nutrition de la plante hôte et de la résistance systémique induite (Comby et *al.*, 2017 ; da Silva Campos et *al.*, 2017). Une des stratégies préventives consiste à stimuler les défenses naturelles des plantes par mycorhization.

Concernant les nématodes parasites des plantes, plusieurs études ont montré les effets protecteurs des CMA dans bon nombre de plantes (Alban et *al.*, 2013 ; Koffi et *al.*, 2013 ; Schouteden et *al.*, 2015). Ils confèrent également une protection accrue à la plante contre les champignons bio-agresseurs du sol (Tchabi et *al.*, 2016). Au niveau foliaire, on peut citer par exemple la suppression du flétrissement dû à *Fusarium oxysporum* sur le concombre mycorhizé

(Jung et *al.*, 2012) et la réduction significative des symptômes causés par *Alternari solani* sur des plants de tomate mycorhizés (Pozo et *al.*, 2010).

L'inoculation des plantes par les champignons mycorhizes arbusculaires augmente la tolérance de la plante face aux stress abiotiques (Outamamat et *al.*, 2022 ; Shu et *al.*, 2022). Les facteurs de stress abiotiques les plus étudiés sont la sécheresse, la salinité, les températures extrêmes, les carences en nutriments ou les métaux lourds (Parihar et Rakshit, 2016 ; Romero-Munar et *al.*, 2019 ; Mathur et Jajoo, 2020). Par exemple, les champignons mycorhiziens peuvent améliorer la résistance de la plante dans des sols salins ou à haute teneur en métaux lourds (Liu et *al.*, 2015 ; Bencherif et *al.*, 2023). Les avantages des CMAs sous des conditions de stress produites par les métaux lourds ainsi que leur contribution au processus de phytoremédiation ont été mentionnés par plusieurs auteurs (Meier et *al.*, 2012 ; Rezvani et *al.*, 2015 ; Zhang et *al.*, 2015). Les CMAs induisent différentes modifications métaboliques et la production de molécules osmo-protectrices permettent à la plante de mieux résister face aux stress salin (Chandrasekaran et *al.*, 2014 ; Hashem et *al.*, 2016 ; Evelin et *al.*, 2019). Ils améliorent leur croissance et leur rendement sous stress salin et semblent leur apporter nombreux avantages lorsqu'elles sont soumises au stress osmotique (Augé et *al.*, 2014).

Les CMAs augmentent la tolérance aux stress hydriques (Fotso et *al.*, 2019) et améliorent la tolérance au stress de la température (Zhu et *al.*, 2017).

Les CMAs sont capables d'adapter leur développement et leur métabolisme selon différents mécanismes : en modifiant le métabolisme des lipides, par la production d'antioxydants (Malicka et *al.*, 2021), la décomposition de molécules polluantes. Enfin, grâce à l'étendue des réseaux mycéliens dans le sol, les CMAs ont la capacité de séquestrer des molécules toxiques dans les structures fongiques et donc de diluer et diminuer la pollution dans les sols (Miransari, 2011).

➤ Agrégation des sols

La formation d'agrégats est un facteur important qui détermine la structure des sols. Les CMAs jouent un rôle très important la formation des agrégats des sols. Les champignons forment un important réseau de filaments mycéliens pouvant atteindre 30 mètres par gramme de sol (Hirissou, 2020). Ce réseau apporte une contribution importante à la structure et aux propriétés physiques des sols qui est un aspect très important pour les cultures. Les filaments mycéliens lient les particules minérales et organiques ensemble pour former des micro-agrégats stables entre lesquels s'établit une porosité permettant la rétention de l'eau et la circulation des gaz qui sont indispensables au fonctionnement des racines (Garbaye, 2013). Cette action est renforcée par la sécrétion d'une glycoprotéine (protéine avec sucre fixé), la glomaline, agissant comme

une « colle » qui assure la stabilité des agrégats. La glomaline supporte les hautes températures et son caractère hydrophobe lui permet de résister à la dégradation par les micro-organismes. Ces propriétés font de cette glyco-protéine un composant majeur de la fraction organique des sols où les formations végétales sont dominées par des endomycorhizes arbusculaires (Garbaye, 2013). Les chercheurs considèrent que la glomaline peut représenter jusqu'à 1/3 du carbone des sols, ce qui fait des champignons endomycorhiziens à arbuscules des acteurs essentiels de stockage du carbone dans les sols.

Pour une meilleure association de ces champignons avec les cultures, il est nécessaire de connaître la diversité des champignons liés aux cultures.

1.2.6. Les facteurs de l'expression de la symbiose mycorhizienne

Les champignons mycorhiziens arbusculaires doivent évoluer dans un environnement approprié pour établir une symbiose pleinement efficace. Ainsi, certains facteurs influencent l'action de ces champignons dans leur symbiose avec les plantes.

1.2.6.1. Lumière

Le bon développement d'une plante dépend de la quantité de rayonnement solaire reçu par cette dernière. Comme les champignons mycorhiziens arbusculaires obtiennent leurs hydrates de carbone de la plante, une diminution de la photosynthèse due à un manque de lumière peut indirectement affecter la colonisation mycorhizienne, la production de spores et l'élongation du réseau d'hyphes (Heinemeyer et *al.*, 2004). La quantité de lumière exerce une influence sur le développement des champignons mycorhiziens arbusculaires et sur la stimulation de la croissance de la plante hôte.

1.2.6.2. La plante hôte

Les champignons mycorhiziens arbusculaires ont nécessairement besoin d'une plante hôte pour se développer et se reproduire, car ils sont des symbiotes obligatoires (Fortin et *al.*, 2008). En plus des produits carbonés, la plante hôte fournit au champignon un abri et une protection physique contre les aléas de l'environnement, comme les variations de température et d'humidité et les attaques des agents pathogènes (Garbaye, 2013).

1.2.6.3. Effet du pH du sol sur la symbiose

La disponibilité d'éléments nutritifs dans le sol varie avec le pH. Un pH très élevé ou très faible peut exposer les plantes à des carences en éléments minéraux, affectant ainsi le rendement des cultures. Le pH influence aussi l'activité des micro-organismes du sol qui participent à la minéralisation de la matière organique ainsi que celle des champignons mycorhiziens (CRAAQ, 2013). L'adaptation des champignons à différents niveaux de pH varie selon les espèces. Les champignons mycorhiziens sont prépondérants dans les sols acides et sont

capables de prospérer sous une large gamme de pH (Davet, 1996). Des études ont montré que la basicité d'un sol est un facteur important pour une meilleure absorption racinaire des éléments nutritifs et un développement de la vie dans le sol (Ognalaga et al., 2015). En effet, dans les sols à pH inférieur à 5,5 et supérieur à 6,5 la germination des spores de CMA diminue (Guinberteau et Courtecuisse, 1997). La diminution des taux de germination des spores entraîne une diminution du potentiel infectieux des CMA et de leur performance.

1.2.7. Dépendance mycorhizienne

La dépendance mycorhizogène est une propriété intrinsèque de chaque espèce végétale et, en fonction de l'espèce fongique, déterminée par l'ampleur des avantages procurés par la symbiose sur les effets du développement et de la croissance de la plante hôte (Sangay-Tucto, 2018). Toutes les plantes n'ont pas la même dépendance mycorhizienne (Dlagne et Ingleby, 2003). L'effet le plus visible de la symbiose à arbuscules sur la plante se manifeste sur la croissance qui résulte de la complémentarité de trois composants : la plante, le champignon, et le sol. Elle varie principalement en fonction des espèces (Gerdemann, 1968), et des cultivars (Azcon et Ocampo, 1981) de l'espèce des champignons symbiotiques (Alexander, 1965) et de la fertilité du sol (Mosse, 1986). La dépendance des plantes vis-à-vis des mycorhizes est mesurée par la différence de la matière sèche de plante mycorhizée avec la matière sèche de plante cultivée sur sol sans mycorhizes, par rapport à la matière sèche de la plante mycorhizée (Sané et al., 2022). Les plantes sont regroupées en trois types selon leur aptitude à absorber les éléments minéraux du sol notamment le phosphore :

Le premier groupe est constitué de plantes non mycotrophes, sans dépendance mycorhizienne dont les racines sont capables d'absorber directement le phosphore du sol sans l'intervention du champignon ;

Le second groupe est constitué de plantes à faible dépendance mycorhizienne ou les mycotrophes facultatifs, ce groupe de plantes se reproduit grâce à la symbiose mycorhizienne uniquement lorsque le milieu dans lequel il se trouve est pauvre en éléments nutritifs et

Le troisième groupe est constitué de plantes à forte dépendance mycorhizienne, se sont les mycotrophes obligatoires, ce groupe ne peuvent terminer leur cycle de développement qu'en association avec les champignons mycorhiziens présente de système racinaire peu ramifié comme les asperges, carotte, poireau, soja....

CHAPITRE 2 : DIVERSITE DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS A ARBUSCULES PRESENTS DANS DES PLANTATIONS D'ANACARDIUM OCCIDENTALE. L AU SENEGAL

Ce chapitre a fait l'objet :

- D'un article: Thiocone, K.M.O., Soumare, A., Charahabil, M.M., Ndiaye, L., Ndoye, F., Fall, S., Hoher, V., Amadou, B.A., 2023. Density and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in *Anacardium occidentale* L. plantations in Senegal. *Afr J Microbiol Res.* 9 (17), 9.
- D'une présentation orale : Symposium of Young Mycologists from Tropical Africa 25 to 27 January 2024, Parakou, Benin (Thiocone et al., 2024)

Résumé

La culture de la noix de cajou joue un rôle socio-économique important au Sénégal. Cependant, il souffre de plusieurs problèmes, notamment la baisse de la fertilité des sols, qui entraîne une faible productivité. Pour surmonter ces contraintes, l'utilisation de champignons mycorhiziens arbusculaires (CMAs) pourrait être une alternative durable. Toutefois, les effets positifs des CMAs peuvent dépendre de leur potentiel infectieux, de leur densité et de leur diversité. Jusqu'à présent, peu d'attention a été accordée à l'exploration de ces aspects dans les plantations de noix de cajou. La proposition de cette étude est de déterminer les propagules infectieuses, la densité et la diversité des spores de CMAs dans les agro-systèmes d'anacarde. Des échantillons de sol (5 / région de production) ont été collectés sous couvert de l'anacardier à une distance $\frac{3}{4}$ du rayon du houppier dans les quatre régions de production de noix de cajou au Sénégal. Ces prélèvements ont été réalisés grâce à un dispositif complètement randomisé. Ces échantillons ont été préalablement traités par technique de tamisage humide et de décantation et les spores ont été isolées par centrifugation. Par la suite, une identification morphologique des spores extraites a été réalisée. Pour comparer le nombre de propagules de CMAs entre les sites, un essai biologique du nombre le plus probable (MPN) a été effectué dans des conditions de serre en utilisant *Zea mays* comme plante hôte. La densité moyenne des spores de CMAs était significativement plus élevée à Ziguinchor (610 spores/100g de sol), Sédhiou (586 spores/100g de sol) et Fatick (445 spores/100g de sol) par rapport à Kolda (211 spores/100g de sol). Cependant, aucune différence significative n'a été constatée entre Ziguinchor, Sédhiou et Fatick. Les densités de spores et de propagules montrent des résultats opposés, le MPN était élevé dans les sites à faible densité de spores. L'identification des spores a montré 6 genres appartenant à : *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* et *Racocetra*. Les CMAs identifiés pourraient être isolés et multipliés pour produire des bio-inoculants pour l'anacardier.

Mots clés : Abondance, Champignon mycorhizien à arbuscule, Diversité morphologique, Nombre le plus probable de propagules, *Anacardium occidentale*, Sénégal

Abstract

Cashew nut cultivation plays an important socio-economic role in Senegal. However, it suffers from several problems, including declining soil fertility which leads to low productivity. To overcome these constraints, the use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) could be a sustainable alternative. However, the positive effects of AMFs may depend on their infectious potential, density and diversity. So far, little attention has been given to exploring these aspects in cashew plantations. The proposal of this study is to determine the infectious propagules, density and diversity of AMF spores in cashew agro-systems. Soil samples (5 / production region) were collected under the cashew tree cover at a distance $\frac{3}{4}$ from the crown radius in the four cashew nut production regions in Senegal. These samples were taken using a well-randomized device. The soil samples were previously treated by wet sieving and decantation technique and the spores were isolated by centrifugation thereafter, a morphological identification of the extracted spores was carried out. To compare AMF propagule numbers between sites, a most probable number (MPN) bioassay was performed under greenhouse conditions using *Zea mays* as the host plant. The average AMF spore density was significantly higher in Ziguinchor (610 spores/100g soil), Sédhiou (586 spores/100g soil) and Fatick (445 spores/100g soil) compared to Kolda (211 spores/100g soil). However, no significant difference was noted between Ziguinchor, Sédhiou and Fatick. Spore and propagule densities show opposite results, MPN was high in sites with low spore density. The identification of the spores showed 6 genera belonging to: *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* and *Racocetra*. Identified AMFs could be isolated and multiplied to produce bioinoculants for cashew trees.

Keywords: Abundance, Arbuscular mycorrhizal fungi, Morphological diversity, Most Probable Number, *Anacardium occidentale*, Senegal

Introduction

La noix de cajou est une culture tropicale et une source de revenus extrêmement importante pour des milliers de personnes au Sénégal. Il est largement cultivé dans le sud du pays, notamment en Casamance et dans le bassin arachidier du Sénégal avec une production nationale estimée à environ 160000 tonnes en 2023 (Sagna, 2024). En Casamance, l'anacarde est cultivé principalement dans les régions de Kolda, Sédhiou et Ziguinchor, tandis que dans le Bassin arachidier, elle concerne la région de Fatick. La noix de cajou constitue une source de revenus majeure dans ces régions en faisant vivre plus de 22 500 ménages qui représentent une population totale d'environ 352 600 habitants (ASEPEX et IRD, 2016). Malgré l'importance socioéconomique de cette culture, les rendements des noix de cajou ont progressivement diminué au cours de ces dernières années (Ndiaye, 2017). Actuellement, le rendement par arbre varie de 3,2 à 5,81 kg et le rendement par hectare est d'environ 542 kg/h (Samb *et al.*, 2018). Cette production reste faible par rapport à d'autres pays producteurs comme le Brésil, le Vietnam, l'Inde, l'Indonésie, les Philippines, la Côte d'Ivoire, le Nigeria et le Bénin (Samb *et al.*, 2018). Parmi les nombreux facteurs associés à la faible productivité de l'anacardier, la faible fertilité des sols, notamment en azote et en phosphore, constitue le facteur limitant majeur de la production. De plus, très peu d'attention, en termes de recherche, a été accordée à cette culture. Il est donc nécessaire d'intensifier la recherche pour améliorer la productivité, les rendements et la qualité de la noix de cajou, ainsi que de normaliser les techniques de propagation efficaces pour augmenter la productivité de cette culture. Dans ce contexte, l'utilisation de champignons mycorhiziens à arbuscules (CMAs) pourrait favoriser la croissance et le développement des plantes et assurer une protection contre les phytopathogènes (Barrow, 2012 ; Sadhana, 2014). En fait, dans des conditions naturelles, les plantes entretiennent des relations symbiotiques avec des micro-organismes comme une stratégie de défense pour résister aux adversités en augmentant leur résilience au déficit hydrique et à la rareté des nutriments du sol (Cius, 2017 ; Manga *et al.*, 2022 ; Soumare *et al.*, 2023). Il est donc important de connaître quels sont les CMAs présents dans la rhizosphère et dans les racines des plantes naturelles afin d'identifier les plus fréquents et ceux présentant une grande adaptabilité aux conditions environnementales. En fait, les variations de la diversité des CMAs peuvent influencer la stabilité et la dynamique des populations d'un écosystème en modifiant la compétitivité et la persistance des plantes. Cependant, la diversité fongique des CMAs ainsi que la variabilité et la productivité des écosystèmes faisaient l'objet de peu d'attention. Cette étude vise à évaluer le nombre le plus probable de propagules infectieuses, la densité et la diversité des CMAs associés à *A. occidentale* L. dans différentes zones agro-écologiques de production d'anacarde au Sénégal.

2.1. Matériel et Méthodes

2.1.1. Présentation de la zone d'étude

Cette étude a été menée dans deux zones agro-écologiques : la Casamance et le Bassin Arachidier favorables à la culture de l'anacarde (**Figure 7**). En Casamance, les sites de prélèvement correspondant aux régions administratives de Kolda (Sanankoro 12°53'00" N, 14°57'00" O), Sédhiou (Colane 12°42'29" N, 15°33' 25" O) et Ziguinchor (Boutoupa Camaracounda (12°33'40" N, 16°17'00" O) tandis que dans le Bassin arachidier les prélèvements ont été réalisés dans la région de Fatick (Ndiémou 14°19'00" N , 16°25'00"O).

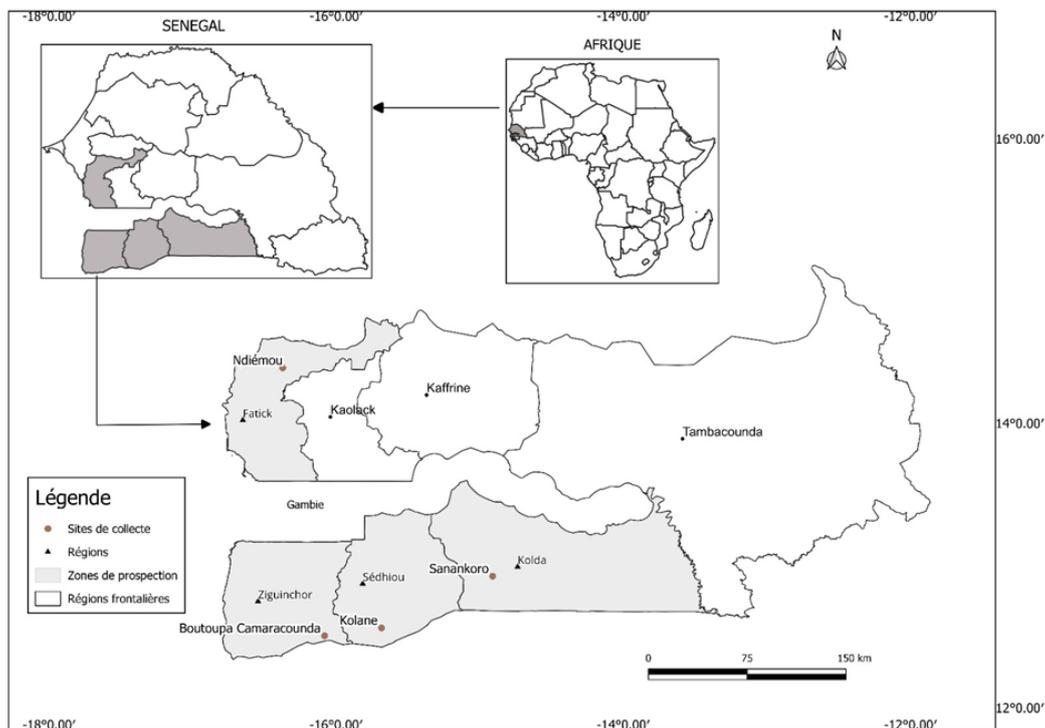


Figure 7 : Carte du Sénégal indiquant la zone de culture de l'anacarde au Sénégal et la zone d'échantillonnage des sols

En Casamance, les précipitations annuelles varient entre 600 mm et 1775 mm réparties de juin à octobre avec une température moyenne annuelle de 26,7°C (Camara, 2018). Dans cette zone les sols sont de type tropical ferrugineux et/ou ferralitique, argilo-limoneux, hydromorphes (ANSD, 2013). En revanche, la région de Fatick appartient au climat tropical semi-aride avec une température annuelle moyenne comprise entre 21°C et 37°C et une pluviométrie annuelle moyenne de 611 mm (Samb et *al.*, 2018b). Les sols dans cette région sont de types halomorphes salins et acidifiés (Samb et *al.*, 2018b).

2.1.2. Prélèvement des échantillons de sols

Sur chaque site, le prélèvement des sols a été fait sous cinq arbres d'*Anacardium occidentale* de manière aléatoire. Les arbres échantillonnés ont été séparés d'une distance d'environ 50 m.

L'échantillonnage a été réalisé à une distance de 3/4 du rayon du houppier à une profondeur de sol de 0 à 20 cm à l'aide d'une tarière, en suivant les directions Est, Ouest, Nord et Sud de chaque arbre. Les sols prélevés sous chaque arbre sont mélangés pour former un échantillon composite. Cinq échantillons composites ont été collectés par site.

2.1.3. Caractérisation physicochimique des sols

Une caractérisation physique et chimique du sol a été réalisée au Laboratoire des Sols, Eaux et Végétaux de l'ISRA/CNRA à Bambey suivant la méthode de (Bremner et Mulvaney, 1982). Les échantillons ont été placés dans un agitateur mécanique et tamisés pendant 5 minutes à travers une série de tamis de 50, 100, 250, 500 et 1 000 μm de diamètre pour déterminer la taille des différentes particules de sol. Tous les échantillons de sol ont été caractérisés en mesurant le pH, le C et le N totaux du sol après combustion sèche dans un analyseur élémentaire (LECO Corporation, St. Joseph, MI, USA). Le P total et disponible ont été analysés par la méthode Olsen-Dabin (Aubert, 1978). D'autres composants ont également été déterminés tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , la méthode de spectrophotométrie d'absorption atomique et de l'aluminium échangeable ont été utilisés (David, 1960).

2.1.4. Dénombrement et identification des spores de champignons mycorhiziens à arbuscules

Pour chaque échantillon composite, les spores des champignons mycorhiziens à arbuscules ont été isolées de la rhizosphère de *A. occidentale* en utilisant la technique de tamisage humide et de décantation de Gerdemann et Nicolson, (1963). Trois sous-échantillons (100 g) de chaque échantillon ont été indépendamment suspendus dans un bêcher de 1,5 L, et mélangé dans 1 L d'eau courante. Après 10 à 30 s de décantation, le surnageant a été passé à travers une série de tamis de mailles décroissantes, 500 μm , 200 μm , 100 μm et 50 μm , disposés respectivement l'un au-dessus de l'autre. Le processus a été répété trois fois pour chaque échantillon de sol pour piéger le maximum de spores de champignons mycorhiziens à arbuscules. Les débris organiques et les spores retenues dans les tamis de 200 μm , 100 μm et 50 μm ont été récupérés dans des tubes de centrifugation (tubes corex de 25 ml). Afin de piéger les spores, 5 ml de solutions de saccharose à 20% et 60% (v/v) ont été injectées successivement au fond du tube à l'aide d'une pipette. Les débris organiques et les spores ont été séparés par une centrifugation à 6000 tours par minute pendant 10 minutes à 4°C. Après centrifugation, les spores se placent à l'interface de la phase aqueuse et de la phase sucrée tandis que les débris organiques restent en surface. Les spores ont été récupérées d'abord à l'aide d'une pipette, puis le liquide se trouvant dans le cône a été passé à travers le tamis de 50 μm de maille pour piéger les spores. Les spores dans le tamis ont été rincées à l'eau courante pour éliminer le saccharose. Elles ont

été ensuite récupérées avec un peu d'eau à l'aide de pipette et ont été mises dans un tube de centrifugation puis conservés au réfrigérateur à 4°C. Pour chaque tube de centrifugation, la suspension contenant les spores a été mise dans une boîte de Petri dont la surface est quadrillée pour faciliter l'identification et le comptage des spores. Les spores ont été identifiées et dénombrées sous une loupe binoculaire de type Nikon.

Le résultat obtenu à la fin du comptage a été exprimé en nombre de spores par 100 g de sol.

Les spores CMAs de différents genres ont été décrites morphologiquement et selon la clé standard faisant référence Souza (2015) et l'INVAM (<https://invam.ku.edu/spores>). L'identification de chaque type de spore a été effectuée sur la base de la couleur, de la forme, de la taille, de l'ornementation de la surface, de la structure de la paroi des spores et du type d'attachement des hyphes (Redecker et al., 2013). L'identification des spores de CMAs a été effectuée après la culture par piège, car la propagation des espèces de CMAs collectées sur le terrain nécessite parfois un environnement contrôlé.

2.1.5. Le nombre le plus probable de propagules (MPN) de champignons mycorhiziens à arbuscules

Le nombre de propagules total a été déterminé sur la base de la colonisation racinaire de la plante par les CMAs. Le MPN est basé sur l'utilisation d'une série de dilutions successives du sol de 10^{-1} à 10^{-6} (Mosse, 1986). Les dilutions ont été préparées en mélangeant le sol d'origine avec le même sol autoclavé à 120 °C pendant 1h (Gianinazzi et Vosátka, 2004). Le mélange de terre est divisé en cinq répétitions de 50 g par pot. Une graine pré-germée de *Zea mays* a été plantée par pot dans des conditions de serre. Après 45 jours, les plantes ont été arrachées et le système racinaire a été coloré selon la méthode de Phillips et Hayman (1970) afin de visualiser les structures mycorhiziennes. A partir de racines non mycorhizées et mycorhizées obtenues pour chaque niveau de dilutions, le MPN des propagules présentes dans le sol a été calculé avec la formule de Fisher et Yates (1963):

$$\log_{10} \text{MPN} = (x \log a) - k$$

«K» est déduite dans la table proposée par W.L Stevens (Fisher et Yates, 1963) ;

« x » représente la moyenne des plantes mycorhizées et

« a » représente le nombre de dilution.

2.1.6. Analyse des données

Toutes les données obtenues ont été saisies à l'aide du tableur Excel version 2013. Les données ont été analysées statistiquement à l'aide du logiciel XLSTAT version 2016. Une comparaison entre les traitements a été réalisée à l'aide d'une analyse de variance unidirectionnelle (ANOVA). Des différences significatives entre l'abondance des spores et entre les propriétés

physiques et chimiques du sol ont été testées en utilisant la différence la moins significative de Fisher (LSD) pour $P < 0,05$. Une analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour déterminer les multiples corrélations entre les propriétés physicochimiques des sols et les types de CMAs identifiés dans les sites d'échantillonnage. Certaines données ont été préalablement transformées par la formule $\text{Ar} \sin \sqrt{x}$ pour les normaliser. Le MPN des champignons mycorhiziens arbusculaires a été calculé à l'aide du tableau Excel.

2.2. Résultats

2.2.1. Analyse physico-chimique des sols

L'analyse granulométrique et le triangle de texture des sols ont montré une variabilité texturale des sols entre les deux zones agro-écologiques. Les sols échantillonnés dans les trois sites de la zone agro-écologique de Casamance (Ziguinchor, Kolda et Sedhiou) sont de types argilo-sableux, tandis que les sols de la zone agro-écologique du Bassin Arachidier (Fatick) sont sableux. L'analyse des paramètres chimiques des sols a révélé une différence significative (valeur $p < 0,05$) dans leur teneur en azote, en cation Ca^{2+} et dans les valeurs de pH (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Caractérisation physicochimique des sols

Paramètres	Sites de collecte des échantillons de sols collectés				p-value	
	Ziguinchor	Sédhiou	Kolda	Fatick		
Physiques	Sable (%)	87,64 ^b	86,48 ^b	89,76 ^{ab}	94,82 ^a	0,005
	Limon (%)	4,81 ^{ab}	5,67 ^a	5,49 ^a	2,81 ^b	0,01
	Argil (%)	7,55 ^a	7,86 ^a	4,75 ^{ab}	2,38 ^b	0,003
Chimiques	pH (eau)	5,11 ^b	5,18 ^b	5,41 ^b	6,07 ^a	0,001
	C (%)	0,51 ^a	0,71 ^a	0,49 ^a	0,62 ^a	0,201
	N (%)	0,06 ^b	0,05 ^b	0,04 ^b	0,10 ^a	0,004
	MO (%)	0,89 ^a	1,22 ^a	0,84 ^a	1,08 ^a	0,201
	C/N	9,54 ^{ab}	14,08 ^a	12,63 ^{ab}	6,78 ^b	0,019
	P (ppm)	11,88 ^a	9,73 ^a	8,72 ^a	14,74 ^a	0,65
	Ca^{2+} (méq/100g)	1,83 ^a	1,87 ^a	2,20 ^a	0,64 ^b	0,002
	Mg^{2+} (méq/100g)	0,22 ^b	0,29 ^{ab}	0,25 ^{ab}	0,50 ^a	0,03
	K^{+} (méq/100g)	0,07 ^a	0,07 ^a	0,07 ^a	0,13 ^a	0,224

Dans la même ligne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Newman-Keuls. pH : potentiel de l'ion hydronium, C% : proportion de carbone organique total, N% : proportion d'azote total, C/N : le rapport entre proportion de carbone organique total et proportion d'azote total, OM% : la teneur en matière organique, P. assimilable : le phosphore assimilable, Ca^{2+} : l'ion calcium, Mg^{2+} : le magnésium, K^{+} : l'ion potassium

Le pH des sols des zones agro-écologiques de la Casamance est légèrement acide, avec des valeurs similaires dans les trois sites. Les sols de cette zone sont également caractérisés par de faibles teneurs de N (%) et une teneur élevée d'éléments Ca^{2+} . Cependant, les sols de la zone agro-écologique de Fatick étaient moins acides et plus proches du pH neutre (6). Ces sols, contrairement aux sols de la Casamance, sont caractérisés par des teneurs élevées de N (%), en cations Ca^{2+} et en C/N. Cependant, aucune différence significative (valeur $p > 0,05$) n'a été observée pour le taux de matière organique, de carbone organique, de phosphore assimilable et de cation K^+ entre les sites d'échantillonnage.

2.2.2. Densité des spores de champignons mycorhiziens à arbuscules dans les différents sites d'études

Les résultats indiquent une variation de la densité des spores en fonction des sites (**Figure 8**). La densité est nettement plus élevée à Ziguinchor (610 spores / 100 g de sol), à Sédhiou (445 spores / 100 g de sol) et à Fatick (445 spores / 100 g de sol) par rapport à Kolda (211 spores / 100 g de sol). L'analyse de variance n'a pas montré de différence significative ($P > 0,05$) sur le nombre de spores entre les sites de Ziguinchor, Sédhiou et Fatick. Toutefois, ces dernières étaient significativement supérieures à Kolda.

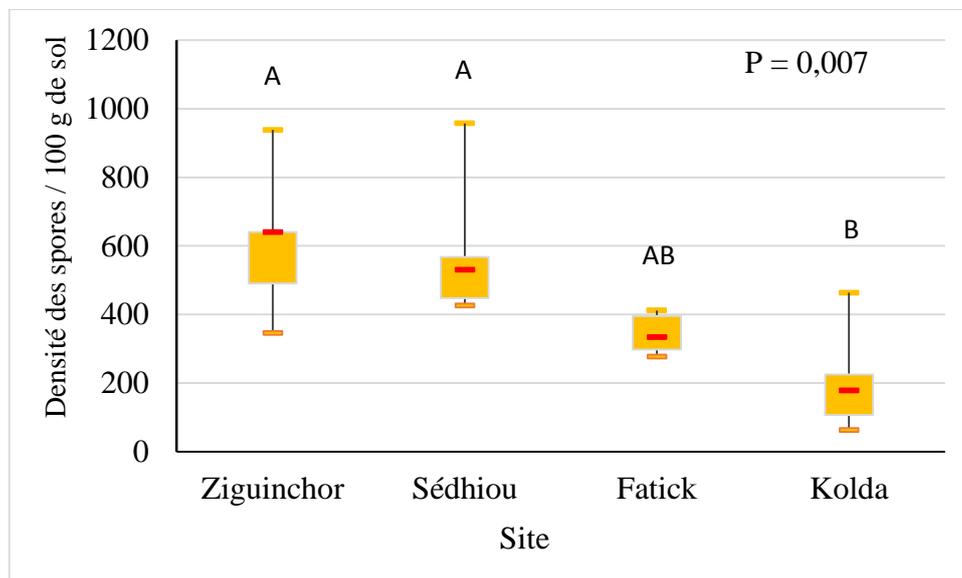


Figure 8 : Densité des champignons mycorhiziens à arbuscules en fonction des sites
Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher

2.2.3. Diversité morphologique des spores de champignons mycorhiziens à arbuscules

Six genres de morphotypes de CMAs ont été enregistrés sur les différents sites étudiés sur la base des caractéristiques morpho-anatomiques des spores. Les genres observés sont *Glomus*, *Gigaspora*, *Racocetra*, *Entrophospora*, *Scutellospora* et *Acaulospora* (**Figure 9**). Ces genres appartiennent aux ordres Glomerales et Diversisporales.

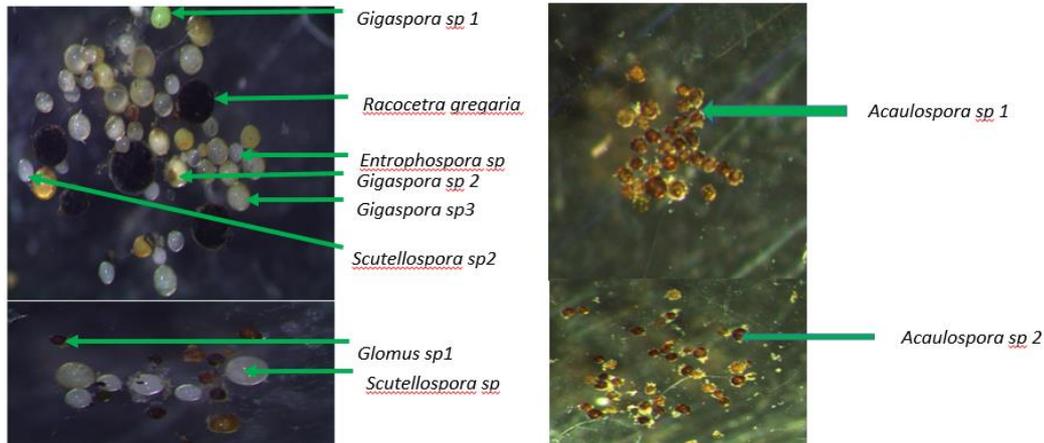


Figure 9 : Les différents genres de champignons mycorhiziens arbuscules identifiés (crédit photo Thiocone, 2022)

La (**Figure 10**) montre que le genre *Glomus* présentait significativement les fréquences les plus élevées (66,75%) suivi de *Acaulospora* (23,87%), alors que les genres, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* et *Racocetra* ont enregistré les fréquences les plus faibles (4,8%, 2,17%, 1,52% et 0,87% respectivement). De plus, il n'y avait pas de différence significative entre ces genres.

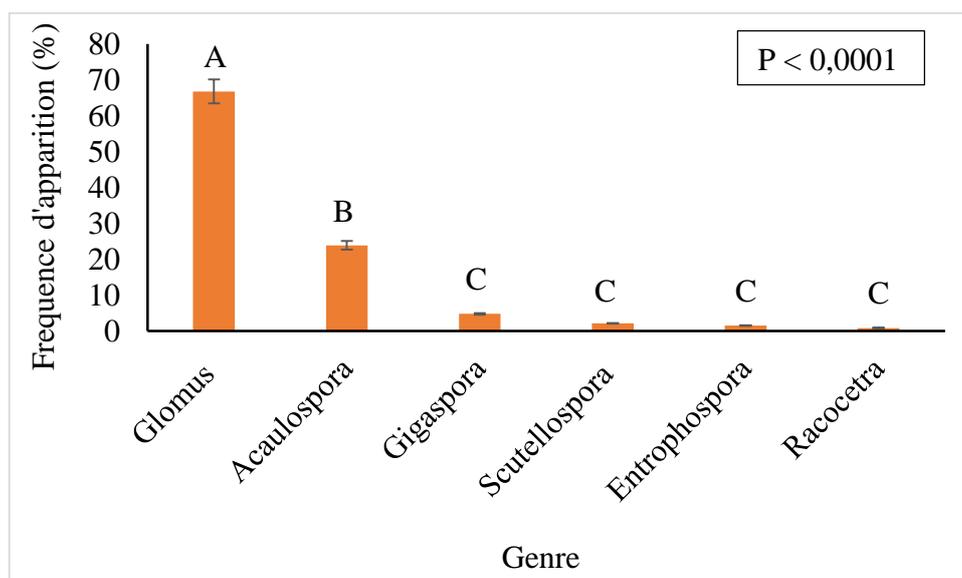


Figure 10 : Fréquence d'apparition des spores de CMAs en fonction du genre
Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher

2.2.4. Abondance des spores de CMAs en fonction du site

L'analyse du tableau de variance (**Tableau 2**) a révélé que les genres de *Scutellospora*, *Glomus*, *Gigaspora*, *Entrophospora* ont une abondance significativement différente selon les sites. Cependant, les genres *Acaulospora* et *Racocetra* ne montrent pas de différence significative entre les sites.

Tableau 2 : Répartition des différents genres de CMAs en fonction du site

Genres Site	<i>Scutellospora</i>	<i>Acaulospora</i>	<i>Racocetra</i>	<i>Glomus</i>	<i>Gigaspora</i>	<i>Entrophospora</i>	Abondance totale
Fatick	22 ^a	48 ^a	8 ^a	267 ^{ab}	62 ^a	21 ^a	344 ^{ab}
Sédhiou	6 ^b	100 ^a	4 ^a	456 ^a	17 ^{ab}	4 ^b	565 ^a
Ziguinchor	4 ^b	131 ^a	1 ^a	469 ^a	4 ^b	2 ^b	604 ^a
Kolda	4 ^b	97 ^a	2 ^a	105 ^b	3 ^b	1 ^b	208 ^b
Pr > F	0,00	0,32	0,13	0,002	0,013	0,044	0,007
Significative	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui

Les valeurs sur la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher

2.2.1. Le nombre le plus probable de propagules infectieuses (MPN)

Le nombre de propagules infectieuses des différents sites est présenté dans le (Tableau 3). Ce nombre variait entre 141,6 / 100g de sol à Ziguinchor et 992,05 / 100g de sol enregistrée à Fatick et Kolda. Le nombre de propagules infectieuses dans 100 g de sol sec pour Sédhiou était de 524,95 propagules/100 g de sol sec.

Tableau 3 : Le nombre le plus probable de propagules infectieuses dans 100 g de sol dans chaque site d'étude

Sites	Nombre moyen de propagules/100 g de sol	Intervalle de confiance au seuil de P<5%
Ziguinchor	141,60	302,59 < 141,60 < 62,26
Kolda	992,05	2119,97 < 992,05 < 464,23
Sédhiou	524,95	1121,80 < 524,95 < 245,65
Fatick	992,05	2119,97 < 992,05 < 464,23

2.2.5. Relation entre les propriétés physicochimiques du sol et l'abondance des spores de CMAs

La **Figure 11** présente la corrélation entre l'abondance des spores de CMAs et les propriétés physicochimiques des sols. La contribution de l'axe F1 est de 74,15% en collecte *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* et *Racocetra*. Cet axe est lié à un taux N total élevé et à un taux

P assimilable élevé et caractérise le site de Fatick qui s'oppose au site de Ziguinchor avec une teneur en Ca^{2+} élevée. L'axe 2 représente 16,67% et est lié à la teneur élevée en C% et MO% dans le sol et l'abondance de *Glomus* qui caractérisent le site de Sédhiou qui s'oppose au site de Kolda caractérisé par de faible teneur en Ca^{2+} et celui de l'axe 2 est de 16,67%.

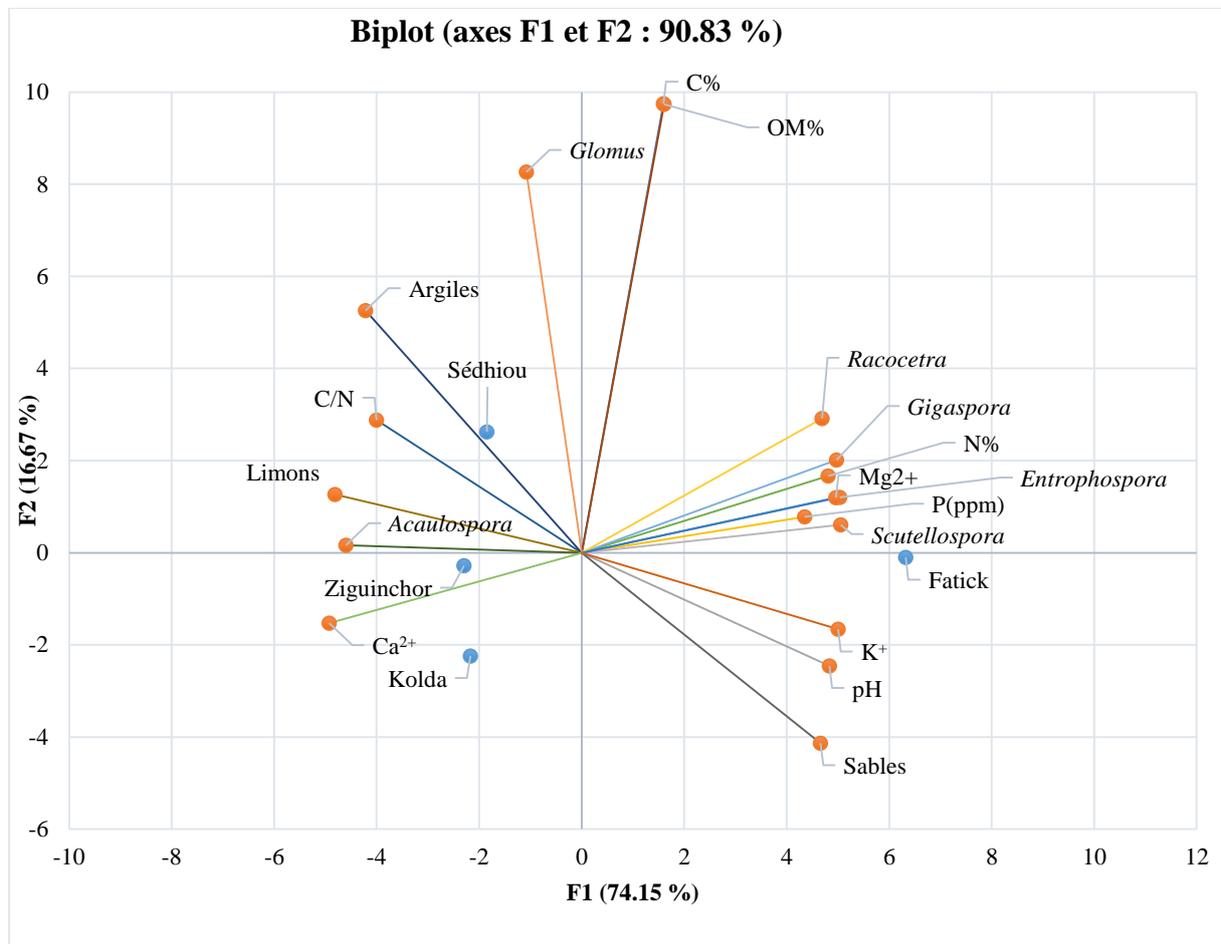


Figure 11 : Analyse en composantes principales de la diversité des champignons mycorhiziens arbusculaires et des paramètres physico-chimiques des sols

L'analyse du **Tableau 4** montre qu'il existe une corrélation positive entre l'abondance des spores et le phosphore, le carbone, l'azote et la matière organique disponible. En revanche, une corrélation négative a été observée entre l'abondance des spores et le pH, mais également entre l'abondance des spores et le rapport C/N. Il a également été noté que les MPN des sols étudiés sont positivement corrélés au pH, au phosphore, au carbone, à l'azote et à la matière organique.

Tableau 4 : Coefficients de corrélation de Pearson entre les paramètres chimiques du sol, l'abondance des spores de CMA et le MPN du sol

Sol														Abondance	
Paramètres	Sables %	Limons %	Argiles %	pH	P (ppm)	C %	N %	C/N	MO %	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Totale	MPN du sol	
Sables %	1,00														
Limons %	-0,90	1,00													
Argiles (%)	-0,97	0,77	1,00												
pH	0,98	-0,87	-0,96	1,00											
P (ppm)	0,72	-0,95	-0,55	0,70	1,00										
C %	-0,04	-0,11	0,12	0,14	0,20	1,00									
N %	0,79	-0,96	-0,64	0,81	0,97	0,37	1,00								
C/N %	-0,79	0,94	0,65	-0,71	-0,94	0,14	-0,86	1,00							
MO %	-0,04	-0,12	0,12	0,15	0,20	0,99	0,37	0,14	1,00						
Ca ²⁺	-0,82	0,96	0,69	-0,86	-0,94	-0,39	-1,00	0,83	-0,39	1,00					
Mg ²⁺	0,87	-0,86	-0,80	0,94	0,76	0,46	0,90	-0,65	0,46	-0,93	1,00				
K ⁺	0,96	-0,97	-0,88	0,97	0,86	0,15	0,93	-0,85	0,16	-0,95	0,94	1,00			
Abondance Totale	-0,45	0,01	0,63	-0,40	0,28	0,50	0,19	-0,05	0,50	-0,12	-0,13	-0,19	1,00		
MPN du sol	0,71	-0,35	-0,84	0,75	0,06	0,00	0,25	-0,13	0,00	-0,33	0,61	0,56	-0,83	1,00	

Les valeurs en gras sont significatives au seuil p-value= 0, 05

2.3. Discussion

L'abondance des spores par morphotypes (densité des spores) et les estimations du MPN des propagules infectieuses de CMAs étaient significativement différentes selon le site exploité. Les résultats obtenus ont montré que les propriétés du sol jouaient un rôle important dans la variation globale de la diversité et de l'abondance des champignons mycorhiziens. Comme l'ont examiné de nombreux auteurs (Kachkouch et *al.*, 2012 ; Soumare et *al.*, 2015) plusieurs facteurs influencent la distribution des spores fongiques mycorhiziennes arbusculaires, tels que le type de sol, l'âge de la plantation, les pratiques culturelles., etc. Les résultats sur les paramètres physico-chimiques ont montrés une corrélation positive entre l'abondance et les teneurs en P, N total, C total et MO. Des études antérieures Nyawira Muchane et *al.* (2012) ; Edlinger et *al.* (2022) ont montré que les teneurs en carbone total et en azote total du sol influencent positivement l'abondance des spores de CMAs. Par exemple, Ba et *al.* (2012) ont rapporté que l'attribution de C aux racines et l'exsudation des racines vers le sol pourraient être bénéfique pour la sporulation des CMAs. Les présentes conclusions contrastent avec celles de (Datta et Kulkarni, 2012; Ma et *al.*, 2023) qui ont trouvé une corrélation négative entre les CMAs et le phosphore disponible. Ma et *al.* (2023), ont montré que la richesse en CMAs et l'indice de Shannon diminuaient avec l'augmentation du P disponible dans le sol et augmentaient avec le pH du sol. Ces contradictions peuvent être dues à des facteurs climatiques et au statut en phosphore de la plante. Le pH du sol est un autre indicateur important de l'abondance de CMAs. Dans cette étude, il existait une relation inverse entre le pH du sol et la densité des spores. Ce résultat est conforme aux travaux antérieurs de Cibichakravarthy et *al.* (2015) qui ont montré que le pH a un impact négatif sur l'abondance des spores de CMAs et des propagules infectieuses. Ceci indique que certaines espèces de CMAs sont induites à sporuler abondamment sous faible pH comme c'est le cas de Ziguinchor et Sedhiou dans cette étude. De plus, la texture du sol et l'allocation de C aux mycorhizes peuvent entraîner une faible diversité et une faible abondance de champignons mycorhiziens. Dans la présente étude, la différence entre le nombre de spores et le MPN, c'est-à-dire un nombre élevé de MPN par rapport à un faible nombre de spores, peut s'expliquer par le fait que de nombreux CMAs se propagent davantage avec d'autres types de propagules tels que les hyphes et les fragments de mycélium extra-racinaires que par les spores (Brito et *al.*, 2012). La majorité des spores trouvées dans les sols de la présente étude appartiennent à la famille des Gloméracées (Driai, 2016). La prédominance du nombre de propagules à Kolda et Fatick pourrait être due au fait que dans ces deux sites les anacardiens sont associés aux cultures maraîchères. Concernant la diversité, notre étude a montré que les spores des genres *Glomus* et *Acaulospora* étaient plus abondantes. Ce

résultat est en accord avec des recherches antérieures qui expliquent ce fait par une différence de développement. Les spores de *Glomus spp.* ont une capacité d'adaptation différente et une plasticité élevée aux facteurs biotiques et abiotiques (Dare et al., 2013). Selon Oehl et al. (2003) ; Zhao et al. (2003), ces genres ont une distribution vers l'extérieur dans tous les types d'agroécosystèmes du monde. Fabre et al. (2021), expliquent cette dominance par une capacité de production de spores plus élevée dans un temps plus court par rapport aux autres genres. De plus, les espèces de champignons mycorhiziens arbusculaires appartenant aux genres *Glomus* et *Acaulospora* résistent mieux aux perturbations des sols et aux écosystèmes altérés (Welemariam et al., 2018). La grande variation de l'abondance et de la fréquence des CMAs entre les sites pourraient également être due à des stratégies de survie différentes en fonction des propriétés du sol. Selon Datta et Kulkarni (2012), les fluctuations du nombre de spores pourraient être associées au processus de germination, de formation et de dégradation des spores.

Conclusion

Dans la présente étude, nous avons étudié le MPN des champignons mycorhiziens à arbuscules, la densité et la diversité des spores de CMAs dans les sols de différentes plantations d'*Anacardium occidentale* L. au Sénégal. D'après les résultats obtenus, il est apparu que les propriétés physiques et chimiques du sol affectent la diversité et l'abondance des CMAs. Six (6) morphotypes de CMAs appartenant au genre *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* et *Racocetra* ont été trouvés. Les genres *Glomus* et *Acaulospora* étaient prédominants dans tous les échantillons de sol. Ces résultats pourraient constituer un point de départ pour le développement d'inocula performants et adaptés à une application sur le terrain. Un test de mycorhization avec des champignons mycorhiziens à arbuscules sera effectué avec diverses provenances d'anacardier du Sénégal pour mieux connaître la dépendance mycorhizienne de l'espèce et les meilleures associations mycorhiziennes.

**CHAPITRE 3 : COMPARAISON DES PARAMETRES
MORPHOLOGIQUES ET CAPACITE GERMINATIVE DES
NOIX DE CAJOU (*ANACARDIUM OCCIDENTALE. L*)
PROVENANT DES QUATRE ZONES DE PRODUCTION DU
SENEGAL**

Résumé

Le défi actuel de la filière anacarde au Sénégal, est essentiellement lié à la productivité. Pour se faire, la capacité germinative est une des étapes importantes à maîtriser pour évaluer la qualité des semences. Cette étude a pour objectif d'évaluer la relation entre les paramètres morphologiques des noix et leur capacité de germination. Un lot de 250 noix de cajou a été prélevé dans les quatre zones de production du Sénégal. Des mesures de longueur, de largeur, d'épaisseur et de poids des noix ont été effectués. Le mode arille vers le haut a été utilisé pour le semis. Trente jours après semi, le taux, la vitesse et le délai de germination ont été évalués. Les résultats obtenus montrent que les noix en provenance de Fatick ont présenté les meilleurs paramètres morphologiques et celles de Kolda les plus faibles valeurs. La plus courte vitesse de germination a été obtenue avec la provenance Kolda (3^e jour après semis) avec 65,85% de noix germées et la plus longue vitesse avec les noix de Fatick (7^e jour après semis) avec 53,33 % de noix germées. Le délai de germination était de 15 jours pour les noix en provenance de Fatick, Ziguinchor, et Kolda et 17 jours pour les noix en provenance de Sédhiou. Le meilleur taux de germination a été enregistré par la provenance Ziguinchor (64,62%) et le plus faible par la provenance Fatick (23,08 %). Les résultats de cette étude constituent un outil d'aide à la décision pour les producteurs sur le choix des semences d'anacarde.

Mots clés : Paramètre, Morphologique, Provenance, Germination, Anacardier

Abstract

The current challenge of the cashew sector in Senegal is essentially linked to productivity. To do this, germination capacity is one of the important steps to master to evaluate the quality of seeds. This study aims to evaluate the relationship between the morphological parameters of nuts and their germination capacity. A batch of 250 cashew nuts was taken from the four production zones of Senegal. Measurements of length, width, thickness and weight of the nuts were taken. The aril up mode was used for sowing. Thirty days after sowing, germination rate, speed and time were evaluated. The results obtained show that the nuts from Fatick presented the best morphological parameters and those from Kolda the lowest values. The shortest germination speed was obtained with the Kolda provenance (3rd day after sowing) with 65.85% of germinated nuts and the longest speed with the Fatick nuts (7th day after sowing) with 53.33% sprouted nuts. The germination time was 15 days for nuts from Fatick, Ziguinchor, and Kolda and 17 days for nuts from Sédhiou. The best germination rate was recorded by the Ziguinchor provenance (64.62%) and the lowest by the Fatick provenance (23.08%). The results of this study constitute a decision-making tool for producers on the choice of cashew seeds.

Keywords: Productivity, germination, seeds, cashew nuts, production areas

Introduction

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) a été introduit sur les côtes Ouest africaines par les navigateurs portugais vers le 15^e siècle comme plante d'agrément et pour fixer les dunes (Goujon et *al.*, 1973). Au Sénégal, les premières introductions dateraient de 1939. De cette période à 1945 (Hien, 2019), l'anacardier a été disséminé dans le Cap-Vert (actuel Dakar), le Sine-Saloum (actuels Kaolack et Fatick) et une partie de Thiès. Cette culture qui était considérée comme essence de boisement et de reboisement (Totjssaint-Norlet et Giffard, 1961), est devenue une essence à vocation agricole et représente une source de revenu importante pour les populations rurales (Ndiaye et *al.*, 2017).

En Afrique, entre 2011 et 2018, la production en noix brute est passée de 1 million de tonnes à 1,8 million de tonnes avec une croissance annuelle de 5,8 % dont la moitié est produite par la Côte d'Ivoire (Hien, 2019). Au Sénégal, les programmes de distribution des plants d'anacardiers initiés par le gouvernement vers les années 1960, suivis des projets PASA (1979 à 1991), PPFs, FRK, PAEFK, IRD/USDA (2012-2017) dans la région de Fatick, du PADEC (2010-2018) et Shelter For Life (2017-2023) dans les régions de Ziguinchor, Sédhiou et Kolda, ont permis à la culture de cajou de connaître un développement rapide. Ce qui place le Sénégal 9^e producteur de noix de cajou au niveau continental et 15^e au niveau mondial (iCA, 2014). En 2019, la production moyenne au Sénégal est estimée à 160000 tonnes (Sagna, 2024). La campagne de commercialisation des noix en 2023 a permis aux acteurs de faire un chiffre d'affaires de plus de 90 milliards sur tous les maillons de la chaîne de valeur (Sagna, 2024). Aujourd'hui, son exploitation constitue l'une des premières activités les plus rentables au Sénégal et plus particulièrement dans la région sud du pays.

Malgré l'énorme potentiel de revenus financiers issus des noix de l'espèce au Sénégal (Coly, 2017 ; Niang, 2017), les rendements des vergers demeurent faibles, de l'ordre de 275 kg/Ha contre 450 kg/Ha en Côte d'Ivoire, 1000 kg/ha en Guinée Bissau (Coulibaly et *al.*, 2020). Ce faible rendement peut être dû à la conjugaison de plusieurs facteurs telles que le manque de moyens de fertilisation des terres, un encadrement technique insuffisant, l'utilisation des variétés peu productives, le passage perpétuel des feux de brousse, la divagation des animaux et les maladies liées aux ravageurs (Ndiaye et *al.*, 2017).

La culture de l'anacardier est principalement basée sur la sélection de traits phénotypiques et agronomiques utiles telles que la taille et le poids de la noix, la couleur de la pomme, la taille des fruits, la canopée des arbres, la longueur de la panicule et le rendement global de production (Mnoney et *al.*, 2001). Les besoins des planteurs et des consommateurs sont d'augmenter la

productivité, et d'avoir accès à des produits compétitifs en quantité et en qualité suffisante, (Akossou et *al.*, 2017).

Or, il est démontré que le niveau de productivité des plantations serait en partie déterminé par l'origine des graines (Diouf et *al.*, 2015). Dans les pays producteurs comme le Brésil, l'Inde et la Thaïlande, les producteurs sont conscients que les plantations obtenues à partir de graines non sélectionnées donnent une production hétérogène et un faible rendement (Soro, 2012). C'est pour cette raison qu'une sélection des noix est importante pour mettre en place une plantation optimale. Cette sélection améliore le taux de germination des graines, ce qui constitue l'une des étapes les plus sensibles de la vie d'une plante (Diouf et *al.*, 2015). Ainsi, la variation de taille et de la masse des graines peut avoir un effet sur cette dernière, sur la vigueur des jeunes plants et sur la productivité.

La présente étude a pour objectif d'étudier la relation existante entre les paramètres morphologique de différentes provenances de noix d'anacarde et leur germination.

3.1. Matériel et Méthodes

3.1.1. Provenance des noix d'anacardiers

Les noix utilisées dans cette étude proviennent de la campagne agricole 2020/2021. Les sites de collectes des noix ont été choisis au hasard dans les quatre principales zones de production de noix de cajou du pays. Les sites considérés sont Balantacounda (Ziguinchor), Colane (Sédhiou), Sanancoro (Kolda) et Ndiémou (Fatick) (**Figure 12**). Une quantité importante de noix (5 kg) a été collectée dans chaque site mise dans des sacs et apportée au laboratoire pour la caractérisation morphologique.

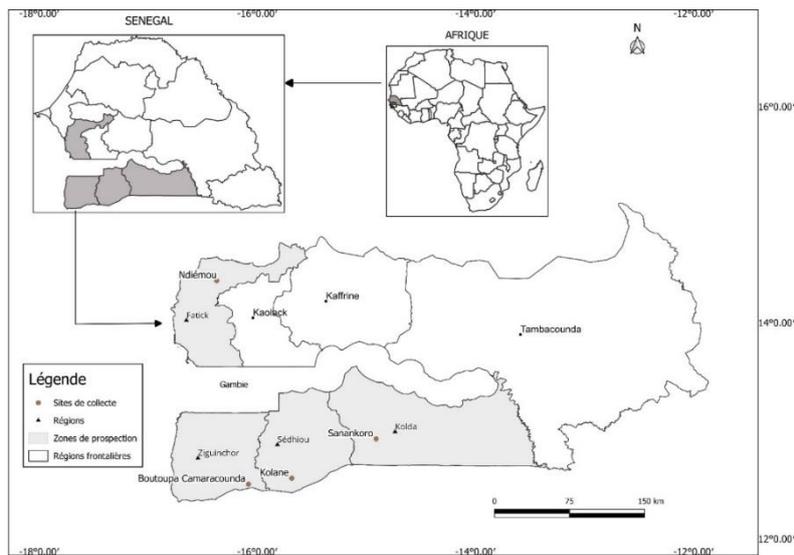


Figure 12 : Site de collecte des noix

3.1.2. Etude des traits morpho métriques des noix

L'étude des traits morpho-métriques a été réalisée sur les quatre provenances étudiées. Pour se faire un lot deux cent cinquante noix (225 noix) a été utilisé par provenance soit un total de neuf cents (900) noix (**Figure 13**).



Figure 13 : Noix d'anacarde crédit photo (Thiocone, 2022)

La caractérisation a porté sur la longueur, la largeur l'épaisseur et le poids des noix. Pour la suite de l'étude cent noix (100 noix) par provenance a été utilisé pour le test de germination.

3.1.3. Étude de la germination des noix et conduite de l'expérimentation

Après documentation Malou (2014) ; Coly (2017) ; Touré et *al.* (2018) ; Touré et *al.* (2019) sur les modes de semis, le mode arille vers le haut c'est-à-dire l'attache pédonculaire des noix tournée vers le haut a été utilisée pour le semis des noix. D'après ces auteurs c'est le mode de semis qui donne le plus important pourcentage de germination. Au total quatre cent (400) noix ont été semées, en raison de 100 noix par provenance. Les noix ont été préalablement trempées dans de l'eau de robinet pendant 48h et renouvelé toute les 6h. Le test de flottaison n'a pas été utilisé dans cette manipulation. Les noix ont été semées dans des gaines en polyéthylène de dimension 25cm-15cm. L'irrigation est réalisée régulièrement une fois par jour (le matin) jusqu'à la capacité au champ. Le suivi se faisait tous les jours jusqu'à la germination.

Après le semis des noix, tous les jours, l'essai a été visité jusqu'à la fin de la germination des semences. Les observations quotidiennes effectuées au cours des visites ont consisté à enregistrer les dates et à compter le nombre de noix germées par provenance.

Le taux de germination final (TGF), la Vitesse de Germination (VG) et le Délai de germination (DG) ont été déterminés selon les formules suivantes :

$$\text{Taux de germination final} = \frac{\text{Nombre de graines ayant germées}}{\text{Nombre total de graines semées}} * 100$$

Vitesse de germination (VG) = temps au bout duquel on atteint 50% de graines germées (Scott et *al.*, 1984).

Le Délai de germination (DG): est l'intervalle de temps entre le semis et les premières graines germées (Samb, 2015).

3.1.4. Analyse des données

Les données obtenues sur les différents paramètres étudiés et sur la germination des noix d'anacarde ont été saisies à l'aide du tableur Excel. Des analyses de variances (ANOVA) ont été portées sur les tableaux de données brutes grâce au logiciel XLSTAT 2016. Les résultats obtenus ne sont pas considérés comme significativement différents si la probabilité $P > 0,05$. Lorsque le coefficient de corrélation R est compris dans l'intervalle] 0,1 ; 0,29 [la corrélation est considérée faible, si elle est comprise entre] 0,3;0,49[, elle est modérée, forte entre] 0,5 ; 0,69 [et enfin très forte si $R > 0,7$.

3.2. Résultats

3.2.1. Caractéristique morphologique et pondérale des noix

3.2.2.1. Longueur moyenne des noix

L'analyse de variance pour la longueur des noix (**Figure 14**) révèle une différence très hautement significative entre les quatre provenances étudiées ($P < 0,0001$). La longueur moyenne la plus importante des noix a été notée à Fatick (3,85 cm). Les noix de Ziguinchor ont enregistré la longueur moyenne la plus faible (3,2 cm). Mais aucune différence significative n'a été notée entre la longueur des noix de Ziguinchor (3,2 cm) et celle de Kolda (3,25 cm).

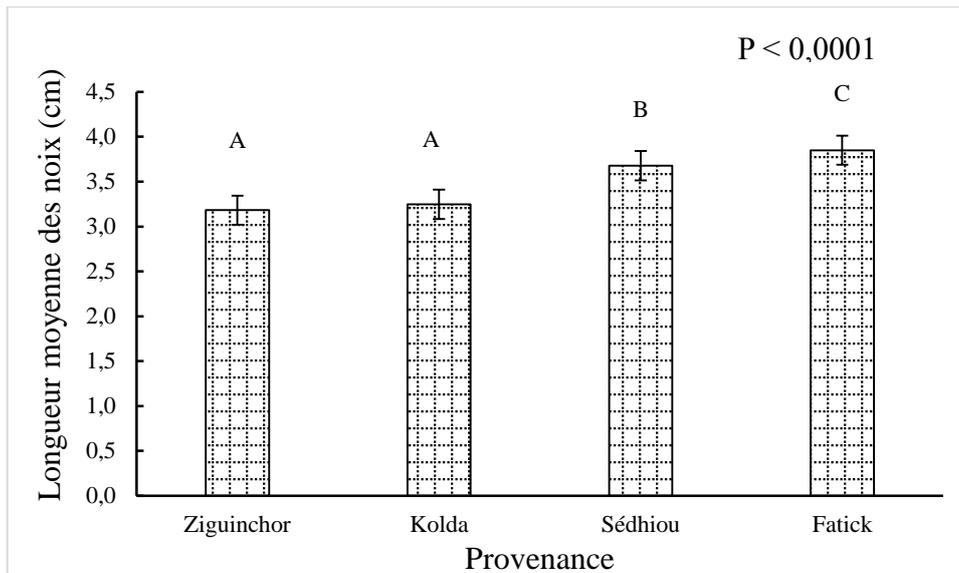


Figure 14 : Longueur moyenne des noix (cm) en fonction de la provenance

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher

3.2.2.2. Largeur moyenne des noix

La **Figure 15** présente la variation de la largeur moyenne des noix en fonction des provenances étudiées. L'analyse de variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différentes provenances étudiées ($P < 0,0001$). La largeur moyenne la plus importante a été enregistrée à Fatick (2,54 cm), suivi de Sédhiou (2,33 cm) et de Kolda (2,1 cm) et la plus faible a été enregistrée à Ziguinchor (2,07 cm).

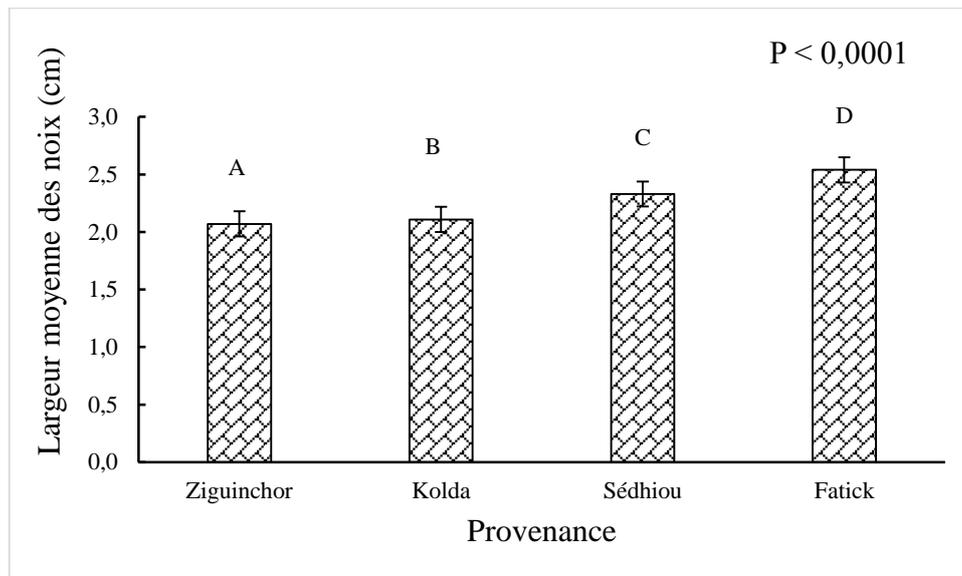


Figure 15 : Largeur moyenne des noix (cm) en fonction de la provenance

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher

3.2.2.3. Épaisseur moyenne des noix

Pour ce qui est de l'épaisseur des noix des quatre provenances étudiées. L'analyse de variance (**Figure 16**) révèle qu'il y a une différence très hautement significative entre les différentes provenances étudiées. Cette différence se manifeste avec une probabilité $P < 0,0001$. L'épaisseur moyenne la plus importante a été observée à Sédhiou avec une moyenne de 1,99 cm et la plus faible à Kolda avec une moyenne de 1,7 cm.

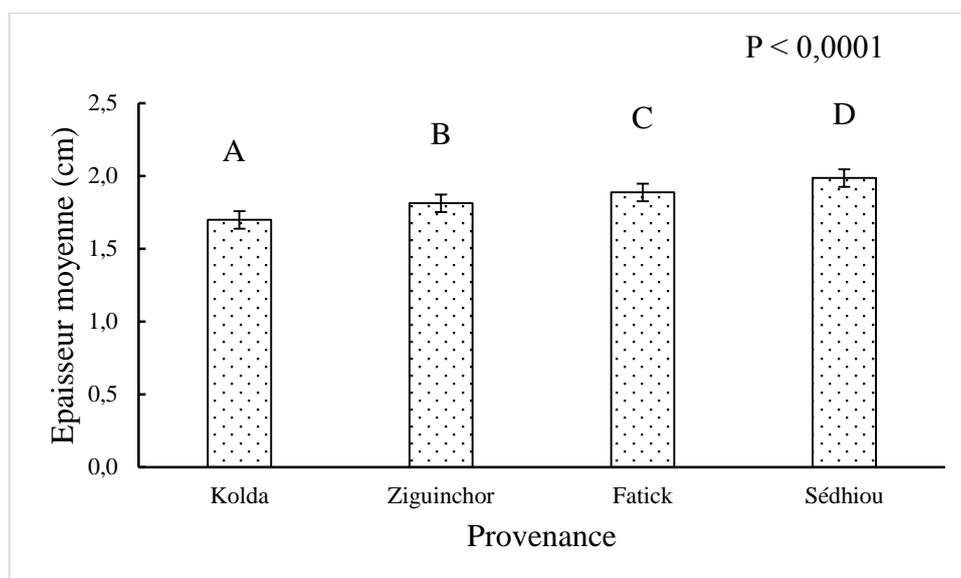


Figure 16 : Épaisseur des noix (cm) en fonction de la provenance

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher

3.2.2.4. Masse moyenne des noix

La **Figure 17** montre la masse moyenne des noix en fonction de la provenance. L'analyse de variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différentes provenances $P < 0,0001$. Les noix de Fatick ont un poids moyen plus important que les autres provenances (9,66 g). Les noix de Kolda ont le poids moyen le plus (6,5g) comparé aux autres provenances. Mais aucune différence significative n'a été notée avec celui de Ziguinchor qui a enregistré un poids moyen de 6,61 g.

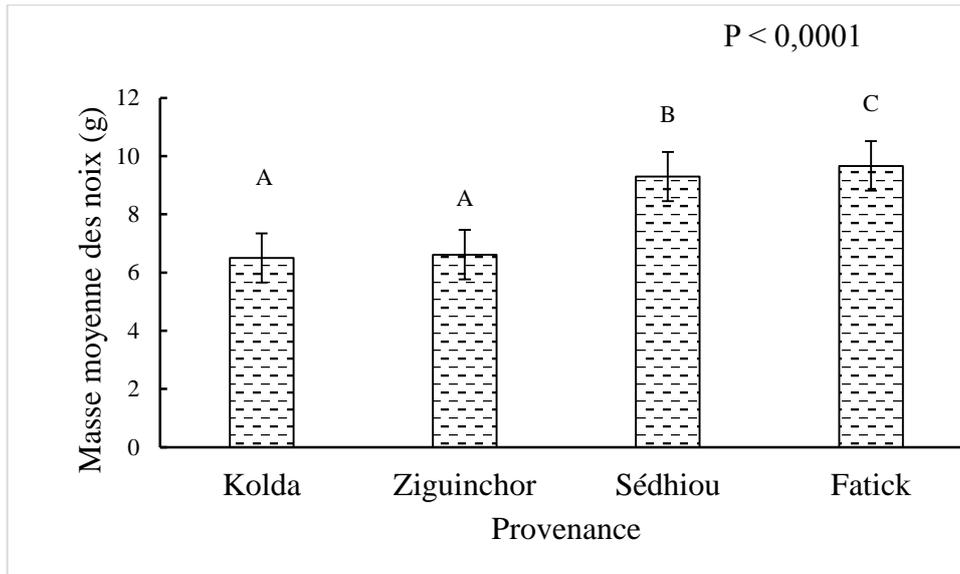


Figure 17 : Masse moyenne des noix (g) en fonction de la provenance

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher

3.2.3. Corrélation entre les différents paramètres étudiés

Après traitement et analyse des données, la masse unitaire des noix est plus corrélée à la longueur (0,81) et à la largeur (0,7) de noix, comparée à l'épaisseur des noix (**Tableau 5**).

Tableau 5 : Corrélation des différents paramètres étudiés

Variables	Masse unitaire (g)	Épaisseur de la noix (cm)	Longueur de la noix (cm)	Largeur de la noix (cm)
Masse unitaire (g)	1			
Épaisseur de la noix (cm)	0,45	1		
Longueur de la noix (cm)	0,81	0,2	1	
Largeur de la noix (cm)	0,70	0,21	0,72	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

3.2.4. Capacité germinative des noix

3.2.4.1. Le taux de germination des noix

La **Figure 18** montre la variation du taux de germination des différentes provenances. L'analyse de variance montre qu'il y a une différence significative du taux de germinative $P = 0,033$ entre les provenances. Les noix en provenance de Ziguinchor ont enregistré le plus grand taux de germination (64,62%). Elles sont significativement différentes des noix en provenance de Fatick qui ont enregistré le plus faible taux de germination (23,08%). Aucune différence significative n'a été notée entre le taux de germination des noix en provenance de Ziguinchor et ce de Kolda et de Sédhiou. Elles ont enregistré respectivement 63,08% et 53,85 % de taux de germination.

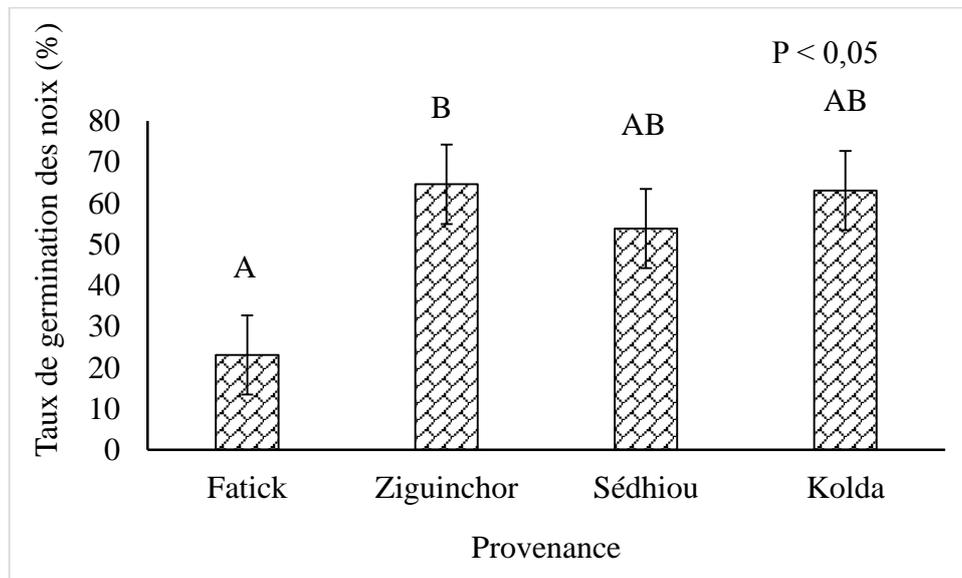


Figure 18 : Le taux de germination des noix en fonction de la provenance

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher

3.2.4.2. Vitesse de germination des noix

La **Figure 19** montre l'évolution de la vitesse de germination en fonction du temps. La vitesse de germination la plus rapide a été observée pour les noix en provenance de Kolda au 3^e jour de germination avec un pourcentage de germination de 65,85%. Les provenances Sédhiou et Ziguinchor s'en suivent avec respectivement 69,44 % et 69,05 % au 6^e jour de germination. Les noix en provenance de Fatick ont obtenues la vitesse de germination la plus lente 53,33 % de germination au 7^e jour de germination.

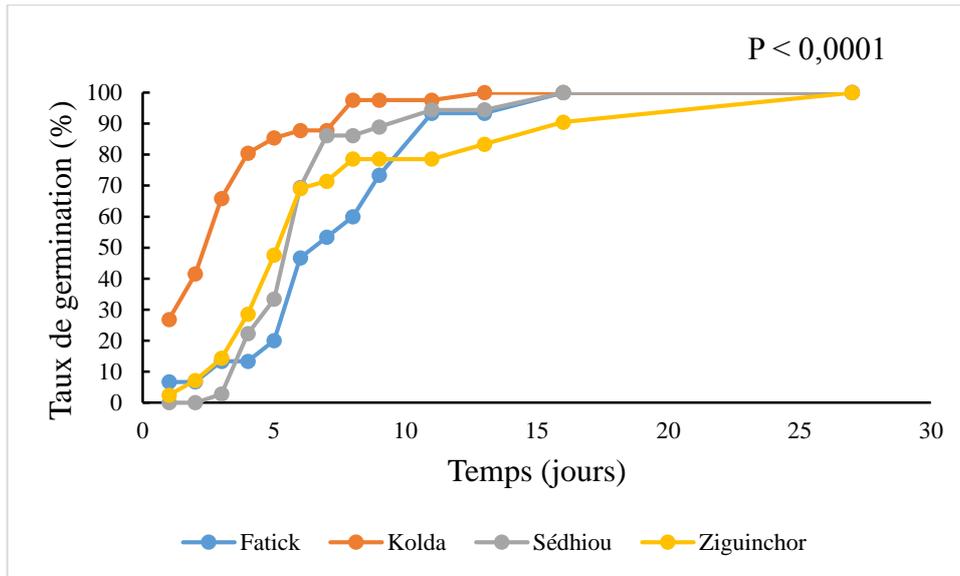


Figure 19 : Vitesse de germination des provenances en fonction du temps

3.2.4.3. Délai de germination des noix

La **Figure 20** représente la variation du délai de germination des noix. Le délai de germination était de 15 jours pour les provenances Fatick, Kolda et Ziguinchor. Les noix en provenance Sédhiou ont enregistré un délai plus long de germination de 17 jours.

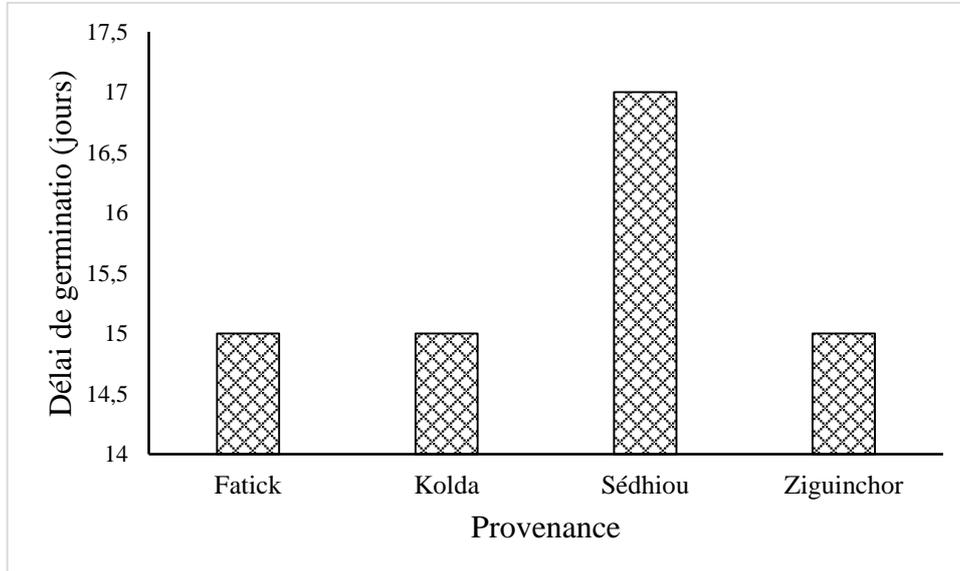


Figure 20 : Délai de germination en fonction de la provenance

3.2.5. Corrélation entre les différents paramètres mesurés et la germination des noix

Le **Tableau 6** montre la corrélation entre les différents paramètres morpho métriques et la germination des noix. D'une part, la germination des noix est corrélée négativement à la longueur, à la largeur et au poids des noix. D'autre part, elle est corrélée positivement faible à l'épaisseur des noix. La même tendance a été observée pour la vitesse de germination. Quant au délai de germination, il est positivement corrélé à la longueur, à l'épaisseur et au poids des noix.

Tableau 6 : Corrélation entre les différents paramètres mesurés et le taux de germination des noix

Variables	Longueur	Largeur	Épaisseur	Taux de germination			
	des noix (cm)	des noix (cm)	des noix (cm)	Poids des noix (g)	des noix (%)	Vitesse de germination	Délai de germination
Longueur des noix (cm)	1						
Largeur des noix (cm)	0,991	1					
Épaisseur des noix (cm)	-0,090	-0,205	1				
Poids des noix (g)	0,971	0,934	0,152	1			
Taux de germination des noix (%)	-0,976	-0,991	0,181	-0,926	1		
Vitesse de germination	-0,845	-0,909	0,529	-0,712	0,922	1	
Délai de germination	0,102	-0,030	0,772	0,285	0,093	0,443	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

3.3. Discussion

L'étude des paramètres morphologique de différentes provenances de noix d'anacarde et leur germination, nous a permis de voir la relation existante entre ces différents paramètres et la germination. Les résultats obtenus révèlent une variation des différents paramètres étudiés en fonction de la provenance. Une hétérogénéité des noix a été observée entre les provenances. Cette variation pourrait être dû au fait que ces noix proviennent de deux zones agro écologiques différentes (conditions climatiques, environnementales et pédologiques différentes) additionnée à des conditions de récolte et de conservation différentes. Une hétérogénéité des noix a aussi été notée au niveau de chaque provenance. Cela pourrait être dû à l'existence de différentes variétés agronomiques de noix cultivées au sein d'une même zone. Ces résultats corroborent ceux de Malou (2014) qui affirme que la longueur, la largeur et le poids des noix de *Anacardium occidentale* varient suivant les variétés de même que (Diédhiou, 2017) qui a révélé que la longueur et le poids de la noix d'anacarde différencieraient significativement suivant les morphotypes. Selon Ndiaye et al. (2017), la variété locale et *Costa Rica* sont deux variétés cultivées dans le Balantacounda situé dans la zone agro écologique de la Casamance. Mais aussi cela pourrait être dû à l'introduction de nouvelles variétés grâce aux projets d'appui pour le développement de la filière anacarde. Selon ISRA (2013), onze (11) provenances ont été introduites dans la région de Fatick, onze (11) dans la région de Kolda, douze (12) dans la région de Sédhiou et onze (11) dans la région de Ziguinchor.

La caractérisation morpho-métrique des provenances révèle que les noix en provenance de Fatick ont enregistré les meilleures valeurs en termes de longueur moyenne (3,85 cm), largeur moyenne (2,54) et masse moyenne (9,66 g) comparé aux autres provenances. Les noix en provenance de Kolda ont enregistré les plus faibles valeurs termes d'épaisseur (1,7) et de poids des noix (6,5 g). Cela pourrait être dû à la qualité des noix cultivée de ses zones.

Selon l'étude réalisée par USAID (2006), la région de Fatick offre la meilleure qualité de noix suivie de celle de Ziguinchor, Sédhiou et de Kolda. Cela s'explique par l'introduction des premières variétés améliorées par le PASA au niveau de Fatick (1980 à 1990) ainsi que des techniques de culture, de récolte et de poste-récolte. Les travaux de Ndiaye et al. (2020), sur l'évaluation de la qualité des noix brute d'anacardier en Casamance ont aussi montré que les noix produites dans la région de Ziguinchor ont la meilleure qualité avec un KOR variant entre 50-51 lbs. Elles sont suivies par celles de la région Sédhiou avec un KOR variant entre 49 à 50 lbs. La plus faible qualité des noix a été enregistrée à Kolda où le KOR varie entre 46-49 lbs. Ce sont les même tendance qui ont été trouvé dans les travaux de (Dieng, 2020) sur la comparaison de la qualité de la noix de cajou dans les principales régions de production au

Sénégal. Les résultats de ces travaux ont montrés que la région de Ziguinchor a la meilleure qualité de noix avec un KOR (45 ± 6 lbs) tandis que le plus faible KOR a été noté dans la région de Fatick (38 ± 9). Les KOR des régions de Kolda (45 ± 8 lbs) et Sédhiou (45 ± 8 lbs) étaient similaires. La faible épaisseur et de masse des noix de Kolda seraient donc la raison de leur faible qualité et aussi de la faible production constatée dans cette zone (Ndiaye et al., 2020a). La variation des paramètres morpho métrique pourrait aussi être due aux différents soins sylvicoles apportés aux plantations. Parmi les raisons expliquant la faible qualité des noix et la faible production, (Ndiaye, 2020 ; Diatta et al., 2023) ont aussi indiqué une récolte précoce des noix et des mauvaises conditions poste-récolte. Selon Mendes (2007), la qualité de la noix diminue avec la compétition entre arbres non taillés. De même, le poids de la noix est beaucoup influencé par la densité de semis. Plus elle est importante plus le poids de la noix diminue. Cette situation pourrait justifier les faibles poids des noix observés à Ziguinchor (6,5g) et à Kolda (6,61g). En effet, les travaux de Ndiaye et al. (2017), sur la caractérisation des plantations d'anacardier dans le Balantacounda affirment des très fortes densités (± 200 pieds/ha). La relation entre poids et germination des noix de cajou a été étudiée par plusieurs auteurs dont (Hamawa et al., 2019). Dans cette étude, une variation du taux de germination a été notée en fonction de la provenance, de la taille et du poids des noix. Les noix de Ziguinchor et de Kolda, ont obtenues les taux de germination les plus élevés, respectivement de 64,62% et de 63,08%. Elles sont suivies par les noix en provenance de Sédhiou 53,85 %, et les noix en provenance de Fatick ont obtenu le taux de germination le plus faible 23,08%. La provenance pourrait avoir un impact significatif sur la germination des noix. Selon Ouattara et al. (2013), les performances et la capacité de germination de la plupart des espèces végétales sont influencées par la localisation des graines ou par l'effet de provenance. Les travaux de Touré et al. (2018), ont aussi montré que la provenance (variété) des graines affecte positivement la capacité germinative de *Anacardium occidentale*. Cette variation du pourcentage de germination pourrait aussi être attribuée à des facteurs environnementaux. Selon Aref et al. (2011), l'effet environnemental sur la production de semences pourrait avoir un effet sur la germination. Les résultats de l'étude ont aussi montré que les noix de petite taille Ziguinchor (3,2 cm) et Kolda (3,25cm) ont enregistré les plus grands taux de germination comparativement aux noix de Fatick (3,85) qui ont la meilleure taille et dont la germination est faible. La taille de la noix aurait donc une influence sur la capacité germinative des noix. Les mêmes résultats ont été obtenus par (Yisau et al., 2023), qui ont travaillé sur l'effet de la taille des graines et de la variation de la source sur les potentiels de germination des graines de la même espèce. De même les travaux de Faye et al. (2019), ont aussi montré que le pourcentage de germination moyen le

plus élevé de *Jatropha curcas L.*, a été enregistré avec les graines de petite taille, suivi par les graines de taille moyenne et enfin par les grandes tailles.

La taille des graines contrôle souvent la germination et dépend de la capacité des graines à utiliser leur réserve alimentaire. La réserve alimentaire et les niveaux de glucose varient selon la taille des graines et peuvent être l'un des facteurs affectant la germination des graines (Murali, 1997). Les graines lourdes contiendraient certainement suffisamment de substances qui renforceraient l'inhibition de la levée de la dormance physiologique des graines (Nonogaki et al., 2010). Cette levée de l'inhibition est indispensable à la germination des graines. C'est ce qui expliquerait la corrélation significativement positive entre la masse des graines et la vitesse de germination des noix en provenance de Fatick.

La variation de la masse des noix peut avoir un effet sur la germination, sur la vigueur des jeunes plants obtenus (Djaha et al., 2010), ainsi que sur la productivité. Les taux de germinations importants enregistré en Casamance pourraient avoir un impact significatif sur la production. Selon PADEC (2006), la Casamance couvre 90% de la production nationale de noix brutes.

Conclusion

Au regard des résultats obtenus, une corrélation négative a été notée entre les différents paramètres morphologiques étudiés et la germination. En effet, les noix en provenance de Fatick présentent les meilleurs caractères morpho métriques, mais les plus faibles capacités germinatives.

Contrairement aux noix de Fatick, les noix en provenance de Kolda qui avaient enregistré les plus faibles valeurs en termes d'épaisseur et de poids et ceux de Ziguinchor qui avaient enregistré les plus faibles valeurs en termes de longueur et de largeur des noix ont présenté les meilleurs taux de germination. Ce taux de germination est plus important à Ziguinchor 64,62% et plus faible à Fatick (23,08%).

Aussi, il est ressorti de l'analyse des résultats, que la capacité germinative des semences pourrait être corrélée positivement à la qualité des noix (KOR) produits. Ce dernier pourrait être utilisé comme un critère de sélection pour l'ex portabilité des noix mais aussi pour déterminer la qualité des noix comme semence.

L'ensemble de ces résultats permet de dire que l'analyse des paramètres morphologique seuls ne permet pas de sélectionner les meilleures noix pour des semences. D'autres paramètres sont à prendre en compte tels que le sol, le climat, l'environnement et la technique de semis.

Pour une meilleure productivité des plantations d'anacardier les producteurs devraient être sensibilisés sur les bonnes pratiques de culture de l'anacardier et choisir les bonnes semences. Après sélection des noix, une association avec des champignons mycorhiziens à arbuscules pourrait être une alternative à l'amélioration du développement de l'anacardier de surcroît sur le rendement en noix.

CHAPITRE 4 : EFFETS DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS A ARBUSCULES SUR LA CROISSANCE DES JEUNES PLANTS D'ANACARDIER AU SENEGAL

Ce chapitre a fait l'objet :

- D'un Poster: 19th AABNF Congress. November 29 to December 1, 2022, Dakar, Senegal

Effects of arbuscular mycorrhizal fungion the growthof cashew seedlings *Anacardium occidentale* L. in a greenhouse conditions (Senegal)

Résumé

Le Sénégal présente une filière anacarde prometteuse, en pleine expansion mais qui est caractérisée par des faibles rendements. Cette étude a pour objectif de contribuer à l'amélioration de la production de plants améliorés en pépinières avec la symbiose des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMAs). Pour ce faire, des tests de mycorhization ont été réalisés avec des plants issus de quatre provenances du Sénégal (Ziguinchor, Sédhiou, Kolda et Fatick) inoculés ou non avec des CMAs selon sept modalités (*Glomus aggregatum*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus manihotis*, *Glomus verrucosum*, *Gigaspora rosea*, mélange des souches et Témoin non inoculé). Les paramètres de croissance, la teneur en chlorophylle, la dépendance mycorhizienne, la fréquence et l'intensité de mycorhization des plants ont été évalués après cinq mois de culture en serre. Les résultats indiquent un effet significatif de l'inoculation sur la dépendance mycorhizienne, la fréquence et l'intensité de mycorhization. Le mélange d'inoculum a présenté la meilleure dépendance mychorizogène avec les plants issus de la provenance de Sédhiou (21,23%) de même que pour l'ensemble des provenances étudiées. Pris isolément, *G. verrucosum* présente la plus importante dépendance mycorhizogène (11,96 %) toutes provenances confondues. L'intensité de mycorhization est relativement faible. La provenance Sédhiou a cependant enregistré le meilleur taux de mychorization avec *G. aggregatum* (6,76 %). Le mélange d'inocula a présenté les meilleurs taux de mycorhization pour les provenances Ziguinchor (6,27 %) et Fatick (5,14%). Pour la provenance Kolda les plants inoculés avec *G. manihotis* s'est avéré le plus efficace avec de taux de mychorization (2,14 %). Malgré ce lien entre les CMAs et l'anacardier, l'inoculation ne présente aucun effet significatif sur les paramètres de croissances des plants ainsi que sur la teneur en chlorophylle. L'ensemble de ces résultats montre que le mélange d'inoculum semble être prometteur pour l'amélioration de la production en noix de l'anacardier.

Mots clés : *Anacardium occidentale*, Champignons mycorhiziens à arbuscules, Serre, Sénégal, Productivité.

Abstract

Senegal has a promising cashew sector, which is booming but which is characterized by low yields. This study aims to contribute to improving the production of improved plants in nurseries with the symbiosis of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). To do this, mycorrhization tests were carried out between plants from four origins in Senegal (Ziguinchor, Sédhiou, Kolda and Fatick) and seven (7) inoculums (*Glomus aggregatum*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus manihotis*, *Glomus verruculosum*, *Gigaspora rosea*, mixture of strains and non-inoculated control). Growth parameters, chlorophyll content, mycorrhizal dependence, frequency and intensity of mycorrhization of the plants were evaluated after five months of cultivation in a greenhouse. The results indicate a significant effect of inoculation on mycorrhizal dependence, frequency and intensity of mycorrhization. The inoculum mixture presented the best mycorrhizogenic dependence with plants from the Sédhiou provenance (21, 23%) as well as for all the provenances studied. Taken in isolation, *G. verruculosum* presents the highest mycorrhizogenic dependence (11, 96%) from all sources combined. The intensity of mycorrhization is relatively low. The Sédhiou provenance, however, recorded the best rate of mycorrhization with *G. aggregatum* (6, 76%). The inocula mixture presented the best mycorrhization rates for the Ziguinchor (6, 27%) and Fatick (5, 14%) provenances. For the Kolda provenance, the plants inoculated with *G. manihotis* proved to be the most effective with a mycorrhization rate (2, 14%). Despite this link between CMAs and the cashew tree, inoculation shows no significant effect on the growth parameters of the plants as well as on the chlorophyll content. All of these results show that the inoculum mixture seems to be promising for improving cashew nut production.

Keywords: *Anacardium occidentale*, Arbuscular mycorrhizal fungus, Greenhouses, Senegal, Productivity

Introduction

Une production végétale de qualité sous-entend des produits finis de haute gamme et l'utilisation de technologies qui préservent au mieux l'environnement. L'anacardier qui était autrefois planté pour lutter contre l'érosion, est devenu depuis quelques décennies une culture pérenne génératrice de revenus pour plusieurs producteurs (Djaha *et al.*, 2012 ; Yao *et al.*, 2013). Cette dynamique fiduciaire de la noix de cajou a entraîné la création tout azimut de vergers d'anacardiers avec des semences souvent non certifiées (Bezerra *et al.*, 2007).

Au Sénégal, les principales zones de production sont les régions de Ziguinchor, Sédhiou, Kolda et Fatick. Les trois premières régions qui constituent la Casamance naturelle couvrent 90 % de la production nationale de noix brutes (PADEC, 2016). Cette production est estimée à 160000 tonnes en 2023 (Sagna, 2024). Elle est plus liée à l'augmentation des superficies de plantations qu'à l'amélioration des rendements. Selon Samb *et al.* (2018), de 1986 à 2017, les superficies des plantations de l'anacardier sont passées de 910,55 km² à 1908,5 km² en Casamance avec une superficie moyenne de 2,6 ha par producteurs. Les rendements sont compris entre 250 kg/ha à 400 kg/ha (Ndiaye *et al.*, 2017). Ces derniers sont faibles comparés à la moyenne mondiale (1,3 T/ha) et africaine (400 à 1 T/ha) (Dandjinou, 2016). Cette faible production peut s'expliquer entre autres par l'utilisation de variétés non sélectionnées et peu productives, le vieillissement des plantations, l'exploitation abusive et incontrôlée des plantations, l'absence de soins sylvicoles appropriés (écartement, fertilisation, lutte phytoparasitaire, etc.), le manque de moyens de fertilisation des terres, de moyens de lutte contre les feux de brousse, etc. (Ndiaye *et al.*, 2017).

Par ailleurs, l'anacardier est une espèce réputée pour sa rusticité. Dans la plupart des cas, les peuplements d'Afrique se retrouvent sur des sols à fertilité relativement peu élevée. La baisse de la fertilité des sols est devenue une préoccupation grandissante pour les producteurs et les chercheurs dont la vocation est d'œuvrer à la conservation et la restauration de la fertilité des sols (Saïdou *et al.*, 2009). L'utilisation intensive de produits chimiques (engrais, pesticides) a incontestablement réussi à augmenter les rendements et à contrôler les cultures. Cependant, en retour, elle a conduit à la pollution des agroécosystèmes (Riah *et al.*, 2014). Toute approche réaliste visant à réduire l'apport de pesticides et de fertilisants chimiques et à protéger les cultures et la qualité des sols mérite d'être exploitée. L'agriculture durable est dirigée actuellement vers la mobilisation des microorganismes du sol tels que les champignons mycorhiziens à arbuscules (inoculum) (Bender *et al.*, 2016) comme biofertilisants. Il a été démontré que la croissance des plantes dépend des interactions qu'elles entretiennent avec le milieu environnant, notamment le sol et les microorganismes qu'il abrite (Haro *et al.*, 2018).

Actuellement, les mycorhizes sont considérés comme l'association plante-symbiotique la plus importante qui joue un rôle central dans le maintien de la fertilité des sols et l'amélioration de la productivité des cultures. Ils constituent le groupe le plus répandu avec des effets bénéfiques reconnus sur la croissance des plantes (Zy et al., 2013). À travers leur mycélium extraracinaire, ces microorganismes améliorent la nutrition hydrique et minérale (principalement phosphorée et l'azote) de leurs hôtes (Leye et al., 2015 ; Haro et al., 2015 ; Manga et al., 2017). Ils confèrent également une protection accrue à la plante contre les attaques de nématodes et autres champignons bio-agresseurs du sol (Tchabi et al., 2016 ; Ouattara et al., 2019), le stress hydrique (Fotso et al., 2019) et salin (Beltrano et al., 2013). Cette utilisation de l'inoculum mycorhizien se traduit pour le producteur par des gains significatifs de rendements et de retour sur l'investissement, accompagnés d'une réduction substantielle des engrais et des pesticides synthétiques (Fortin et al., 2008). L'exploitation de cette symbiose serait une possibilité d'amélioration de la productivité des plantes. Plusieurs inocula mycorhizogènes existent actuellement sur le marché, mais le choix de l'inoculum par l'agriculteur reste difficile car son efficacité varie en fonction de la culture et du type de sol (Ondo, 2014).

La présente étude vise à évaluer les avantages potentiels de l'inoculation de champignons mycorhiziens arbusculaires (CMAs) sur les paramètres de croissances et le comportement de jeunes plants en conditions semi contrôlé (serre). Il s'agit spécifiquement d'évaluer la dépendance mycorhizienne, la fréquence et l'intensité de mycorhization.

4.1. Matériel et Méthodes

4.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de noix d'anacardiens issus de quatre provenances (Ziguinchor, Kolda, Sédhiou et Fatick). Ces noix ont été récoltées en 2021 et conservés en chambre froide au niveau du Laboratoire Commun de Microbiologie (LCM) des sols à 4°C.

4.1.2. Matériel fongique

Le matériel fongique est constitué de champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) obtenues au niveau de la collection du Laboratoire Commun de Microbiologie (LCM). Les inocula utilisés sont : *Glomus aggregatum* (Amadou Bâ, Burkina, 1996), *Glomus fasciculatum* (Tahirou Diop, Sénégal, 1994), *Glomus manihotis* (Amadou Bâ, Burkina, 1996-1998), *Glomus verruculosum* (Tahirou Diop, Sénégal, 1994), *Gigaspora rosea* (Tahirou Diop, Canada, 2004) et un inoculum mixte constitué d'un mélange de ces cinq inocula. La dose d'application était de 20g par plants.

4.1.3. Substrat de culture

Le substrat de culture est un sol stérilisé (3 heures à 120 °C) prélevé à Sangalkam (50 km à l'Est de Dakar) dont les caractéristiques physico-chimiques sont : pH H₂O (6,5), argile (3,6%), limon (32,8%), sable (58,15%), C total (0,54%), N total (0,06%), rapport C/N (8,5), P total (0,0039%) et P Olsen (0,00048%).

4.1.4. Dispositif expérimental

L'étude a été menée en serre en milieu semi contrôlé. Un dispositif en bloc complètement randomisé (**Figure 21**) a été utilisé séparément pour chacune des provenances étudiées.

Deux facteurs ont été étudiés :

- Facteur provenance avec quatre modalités (Ziguinchor, Sédhiou, Kolda et Fatick) ;
- Facteur inoculum avec sept modalités *Glomus aggregatum*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus manihotis*, *Glomus verruculosum*, *Gigaspora rosea*, Mélange et le Témoin.

Chaque traitement a été répété six fois, ce qui nous fait un total de 42 plants / provenance.

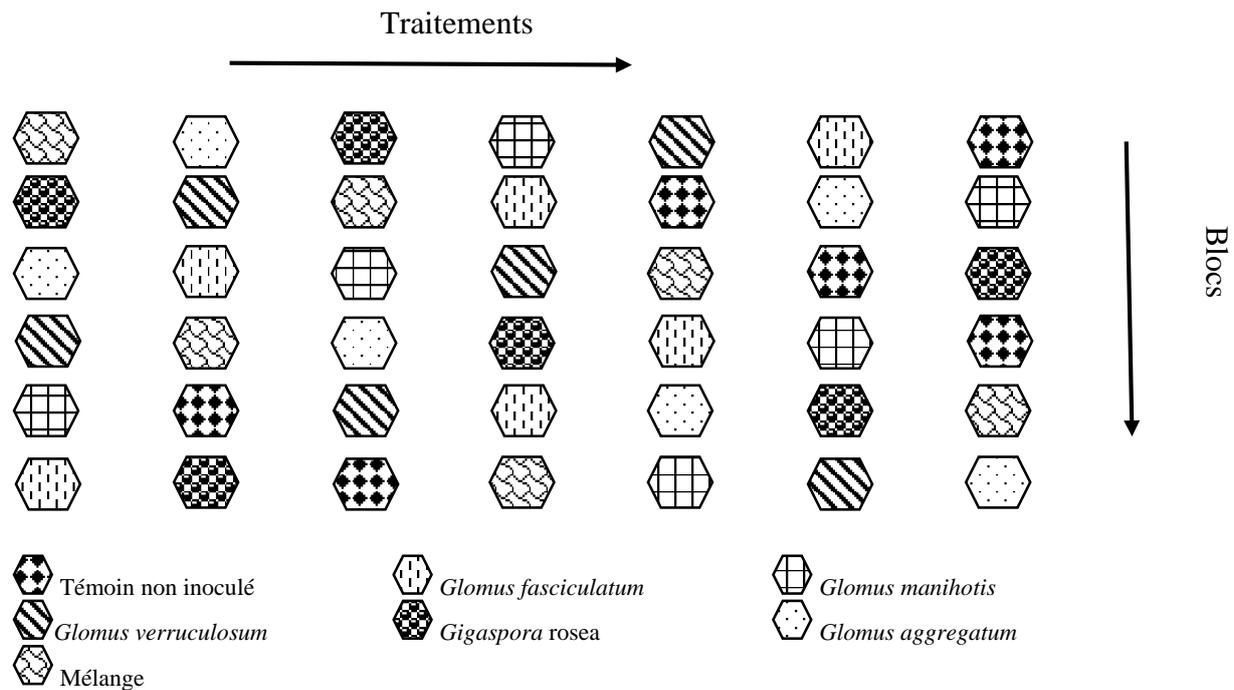


Figure 21 : Dispositif expérimental en randomisation total pour une provenance

4.1.5. Test de la qualité des noix et prétraitement des noix

Un test de flottaison a été réalisé sur les différentes provenances étudiées pour déterminer la qualité des semences obtenues chez les producteurs. Pour ce faire, des seaux en plastique de 10L ont été utilisés. Un seau par provenance et chaque seau a été rempli à moitié d'eau de robinet. Après avoir rempli les seaux, dans chaque seau 500 g de sel et une provenance de noix d'anacardier a été ajoutée. Le tout a été remué puis laissé reposer pendant 4 à 6 heures. A la fin

du temps indiqué les graines flottantes ont été enlevées et mises à l'écart car elles constituent des noix de mauvaise qualité pour la germination. L'eau de trempage a été vidée par la suite. Les graines restant au fond du seau ont été trempées dans de l'eau ordinaire et renouvelée tous les 6 H pendant 48 H pour améliorer la capacité germinative.

4.1.6. Semis et inoculation des plants

Le semis a été fait à raison d'une graine par pot. Au total 168 noix ont été semées (plus 10% de réserve), environ 1kg/provenance a été utilisé. L'inoculation a été faite après germination à raison de 20 g d'inoculum / pot.

4.1.7. Suivi des paramètres de croissance et de la teneur en chlorophylle

Le suivi des paramètres de croissance a été fait mensuellement. Les premières mesures ont été effectuées un mois après germination des noix. Les mesures portant sur la hauteur (H), le diamètre (D), le comptage du nombre de feuille (NF) et la mesure de la teneur en chlorophylle ont été faites pendant cinq mois. La teneur en chlorophylle a été déterminée à l'aide du SPAD, la hauteur à l'aide du centimètre et le diamètre au collet à l'aide d'un pied à coulisse numérique.

4.1.8. Récolte et conservation des plants

La récolte a été faite après cinq mois de culture. Elle a duré deux jours. Le premier jour, la moitié des plants de chaque traitement a été récolté. La partie aérienne et racinaire fraîche a été pesée séparément pour chaque plante et mis dans des enveloppements, étiqueté et mis à l'étuve pendant 72h à 70°C pour après mesurer les biomasses sèches.

Le deuxième jour, l'autre moitié des plantes a été récoltée et la partie racinaire a été lavée minutieusement et mis dans des pots. Les pots sont étiquetés, puis conservé à la chambre froide en attendant l'observation de la colonisation mycorhizienne.

4.1.9. Observation et estimation de la colonisation mycorhizogène des racines

La mise en évidence de la colonisation mycorhizienne du système racinaire a été faite après coloration au Bleu de Trypan. Elle a consisté tout d'abord à un rinçage abondant des racines à l'eau distillée et ensuite à une décoloration des racines dans du KOH (hydroxyde de potassium) à 10%. Cette décoloration a été faite en deux temps. Dans un premier temps, les tubes contenant les racines et le KOH ont été mis dans le bain marin pendant 1 heure 30 minutes à 90°C. Après écoulement du temps fixé, les racines ont été vidées du KOH. Dans un deuxième temps du KOH a été à nouveau mis dans les tubes et placé au bain marin. Cette fois pour une durée de 1 heure de temps. Cela a permis de vider les cellules racinaires par osmose afin de rendre les tissus clairs. Après cela les racines ont été rincées dans une solution d'eau acidifiée à l'HCL,

puis abondamment avec de l'eau de robinet. Les racines ont été ensuite colorées par une solution contenant du bleu de trypan à 0,05% pendant 15 à 30 minutes à 90°C.

Le taux de mycorhization a été déterminé après avoir placé entre lame et lamelle des racines colorées. Chaque échantillon est représenté par 5 lames (répétitions) préparées avec 50 fragments racinaires colorés au Bleu Trypan. Ces derniers ont été déposés délicatement sur les lames, recouverts d'acide lactique 50 % et de lamelles (McGonigle et *al.*, 1990). Au total 500 lames ont été préparées. La fréquence de mycorhization ainsi que l'intensité de mycorhization ont été analysées selon la méthode de Trouvelot et *al.* (1986) en utilisant une gamme d'intensité de colonisation qui est notée de zéro (0) à cinq (5) (**Figure 22**). Les observations ont été faites avec un microscope à fluorescence (Olympus BX50) afin d'exciter à l'UV les structures fongiques présentes.

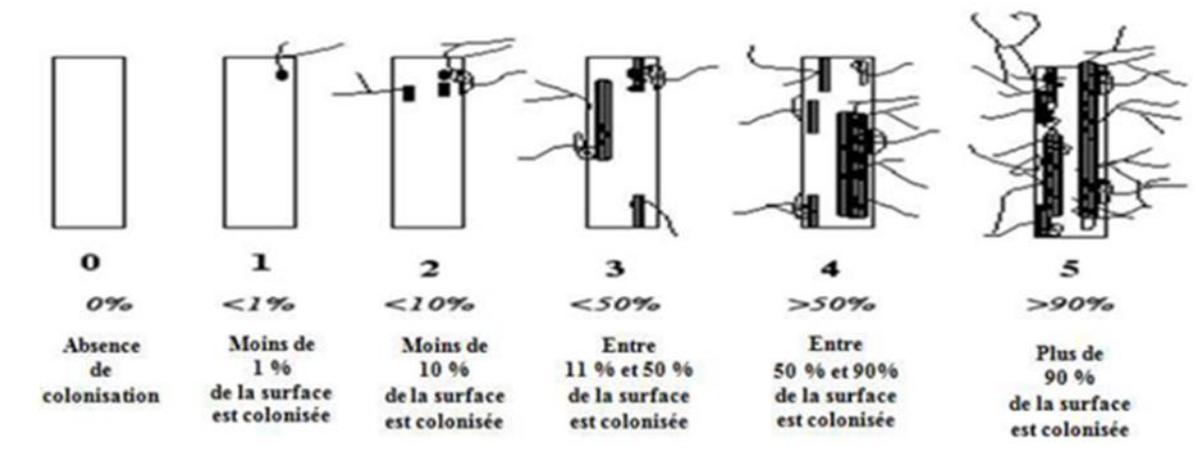


Figure 22 : Notation de l'infection mycorhizienne (classe 0 à classe 5) (Trouvelot et *al.*, 1986)

La fréquence (F) et l'intensité (I) de mycorhization seront calculées selon les formules suivantes:

$$F\% = \frac{\text{Nombre de fragments mycorhizés}}{\text{Nombre total de fragments observés}} * 100$$

$$I\% = \frac{95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1}{\text{nombre total de fragments observés}} * 100$$

n5 = nombre de fragments notés 5;

n4 = nombre de fragments notés 4;

n3 = nombre de fragments notés 3;

n2 = nombre de fragments notés 2;

n1 = nombre de fragments notés 1

4.1.10. La dépendance mycorhizienne de l'anacardier

Après cinq mois de culture en serre, les plants ont été dépotés et les biomasses (racinaire et aérienne) fraiche ont été mesurées pour chaque traitement. Afin de déterminer le poids sec de la partie racinaire et aérienne, ces derniers ont été mis à l'étuve pendant trois jours à 70°C. Au bout de trois jours les biomasses produites pour chaque traitement ont été mesurées. La dépendance mycorhizienne (DM) de chaque plant a été déterminée selon la formule proposée par Plenchette et *al.* (1983):

$$DM = \frac{(BTM - BTNM)}{BTM}$$

DM : dépendance mycorhizienne

BTM : biomasse totale des plants mycorhizées

BTNM : biomasse totale des plants non mycorhizées

4.1.11. Analyse et traitement des données

Les résultats obtenus sont statistiquement traités par l'analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs (provenance x CMAs). Les données de DM et de l'intensité de mycorhization ont été normalisées à l'aide de la formule arc sinus(x) avant d'être soumises à une ANOVA. Les comparaisons des moyennes des paramètres mesurés entre les différents traitements sont réalisées au seuil de 5% par le test de Fisher à l'aide du logiciel XLSTAT 2016.

4.2. Résultats

4.2.1. Effets de l'inoculation avec les CMAs sur les paramètres de croissances et la teneur en chlorophylle des différentes provenances d'anacardier étudiées

4.2.1.1. Effets de l'inoculation sur la hauteur

Le **Tableau 7** d'analyse de variance montre que le facteur provenance a un effet sur la hauteur des plants durant les 5 mois de culture ($P < 0,05$). Le facteur inoculation quant à lui n'avait aucun effet sur la hauteur ($P > 0,05$) des plants. L'interaction entre les facteurs étudiés n'avait aucun effet sur la hauteur des plants durant toute l'expérimentation.

Tableau 7 : Analyse de la variance de la hauteur des plants d'anacardier

	Hauteur (cm)				
	1 ^e mois	2 ^e mois	3 ^e mois	4 ^e mois	5 ^e mois
Pr > F	0,014	0,000	0,002	0,000	0,001
Provenance	< 0,0001***	< 0,0001***	< 0,0001***	< 0,0001***	< 0,0001***
CMAs	0,822 ^{ns}	0,100 ^{ns}	0,076 ^{ns}	0,297 ^{ns}	0,094 ^{ns}
Provenance* CMAs	0,613 ^{ns}	0,898 ^{ns}	0,967 ^{ns}	0,531 ^{ns}	0,675 ^{ns}

CMAs : Champignons mycorhiziens à arbuscules; ns : la différence n'est pas significative ; *** : la différence est très hautement significative.

4.2.1.2. Effet de l'inoculation sur le diamètre au collet

Le **Tableau 8** présente les résultats de l'analyse de la variance de l'effet de l'inoculation sur le diamètre au collet des plants. L'analyse de variance montre que le facteur provenance a un effet significatif ($P < 0,05$) tout au long de la période de l'essai sauf au deuxième mois où l'effet n'était pas significatif ($P > 0,05$). Le facteur inoculation n'a montré aucun effet tout au long de l'essai ($P > 0,05$). L'interaction des deux facteurs (provenance et inoculation) n'avait aucun effet sur le diamètre au collet des plants sauf au troisième mois où un effet significatif a été observé ($P < 0,05$).

Tableau 8 : Analyse de la variance du diamètre au collet des plants d'anacardier

	Diamètre au collet (mm)				
	1 ^e mois	2 ^e mois	3 ^e mois	4 ^e mois	5 ^e mois
Pr > F	0,138	0,624	0,001	0,001	0,004
Provenance	0,004 **	0,271 ns	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***
CMAAs	0,287 ns	0,269 ns	0,313 ns	0,787 ns	0,613 ns
Provenance*CMAAs	0,659 ns	0,818 ns	0,043 *	0,325 ns	0,625 ns

CMAAs : Champignons mycorhiziens à arbuscules; ns : la différence n'est pas significative ; * : la différence est significative ; ** : la différence est hautement significative ; *** : la différence est très hautement significative.

4.2.1.3. Effet de l'inoculation sur le nombre de feuilles

Le **Tableau 9** montre que l'inoculation avec les CMAs n'affectent pas le nombre de feuilles des plants des différentes provenances étudiées ($P > 0,05$). Le facteur provenance quant à lui présentait un effet très hautement significatif sur le nombre de feuilles des plants ($P < 0,05$). L'interaction des différents facteurs étudiés n'a eu aucun effet sur le nombre de feuille produit ($P > 0,05$).

Tableau 9 : Analyse de la variance du nombre de feuilles des plants d'anacardier

	Nombre de feuilles				
	1 ^e mois	2 ^e mois	3 ^e mois	4 ^e mois	5 ^e mois
Pr > F	0,001	< 0,0001	0,000	0,001	0,002
Provenance	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***
CMAs	0,942 ns	0,766 ns	0,697 ns	0,529 ns	0,379 ns
Provenance*CMAs	0,368 ns	0,768 ns	0,912 ns	0,952 ns	0,950 ns

CMAs : Champignons mycorhiziens à arbuscules; ns : la différence n'est pas significative ; *** : la différence est très hautement significative.

4.2.1.4. Effet de l'inoculation sur la teneur en chlorophylle

La teneur en chlorophylle des feuilles est présentée dans le **Tableau 10**. L'analyse ce tableau montre que les facteurs provenance et inoculation de même que leur interaction ne présentaient aucun effet sur la teneur en chlorophylle des plants durant toute la période de l'essai ($P > 0,05$).

Tableau 10 : Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle des feuilles des plants d'anacardier

	Teneur en chlorophylle des feuilles				
	1 ^e mois	2 ^e mois	3 ^e mois	4 ^e mois	5 ^e mois
Pr > F	0,883	0,783	0,243	0,812	0,219
Provenance	0,436 ns	0,736 ns	0,220 ns	0,367 ns	0,226 ns
CMAs	0,528 ns	0,061 ns	0,091 ns	0,621 ns	0,052 ns
Provenance*CMAs	0,913 ns	0,987 ns	0,540 ns	0,797 ns	0,509 ns

CMAs : Champignons mycorhiziens à arbuscules; ns : la différence n'est pas significative

4.2.2. Évaluation de la dépendance mycorhizienne des différentes provenances d'anacardier étudiées

L'analyse de variance (**Tableau 11**) montre que les facteurs provenance et inoculation ont un effet significatif sur la dépendance mycorhizienne des différentes provenances d'anacardier étudiées ($P < 0,05$). L'interaction de ces deux facteurs n'avait aucun effet sur la dépendance mycorhizienne de l'espèce ($P > 0,05$). Les plants issus de la provenance de Sédhiou inoculé avec le mélange d'inoculum ont présenté la meilleure dépendance mychorizogène (21,33%) pour cette provenance et pour l'ensemble des provenances étudiées. La dépendance mycorhizogène la plus importance (11,96 %) a été observé chez les provenances de Ziguinchor, Kolda et Fatick inoculés avec *G. verruculosum*.

Tableau 11 : La dépendance mycorhizienne des différentes provenances d'anacardier étudiées.

Traitements	Dépendance mycorhizienne (%)			
	Ziguinchor	Sédhiou	Kolda	Fatick
Témoin	-	-	-	-
<i>G. aggregatum</i>	-8,56 ± 4,54 ^a	19,43 ± 4,54 ^{fg}	-0,1 ± 4,54 ^{a-e}	4,78 ± 4,54 ^{b-e}
<i>G. fasciculatum</i>	-2,1 ± 4,5 ^{a-d}	-1,76 ± 4,54 ^{a-d}	-5,53 ± 4,54 ^{ab}	8,75 ± 4,54 ^{c-g}
<i>G. verruculosum</i>	11,96 ± 2,74 ^{e-g}	11,96 ± 2,74 ^{e-g}	11,96 ± 2,74 ^{e-g}	11,96 ± 2,74 ^{e-g}
<i>G. manihotis</i>	4,1 ± 4,54 ^{ae}	18,60 ± 4,54 ^{fg}	9,71 ± 4,54 ^{d-g}	2,01 ± 4,54 ^{a-e}
<i>Gigas. rosea</i>	-4,06 ± 4,54 ^{a-c}	11,51 ± 4,54 ^{e-g}	8,25 ± 4,54 ^{c-f}	6,53 ± 4,5 ^{b-f}
Mélange	1,82 ± 4,54 ^{a-e}	21,33 ± 4,54 ^g	6,76 ± 4,54 ^{bf}	10,42 ± 4,54 ^{d-g}
Provenance	0,0001***			
CMA's	0,001 **			
Provenance x CMA's	0,12 ^{ns}			

G. : *Glomus*, Gigas : *Gigaspora* ; CMA's : Champignons mycorhiziens à arbuscules ; ** : la différence est hautement significatif ; *** : la différence est très hautement significative ns : la différence n'est pas significative. Dans chaque colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher.

4.2.3. Évaluation de la fréquence et de l'intensité de mycorhization des différentes provenances d'anacardier étudiées

L'analyse de variance (**Tableau 12**) montre que les facteurs provenance et inoculation ainsi que leurs interactions ont des effets très hautement significatif $P < 0,0001$ sur la fréquence et l'intensité de mycorhization. Le taux de mycorhization obtenus est faible pour l'ensemble des provenances étudiées. Sédhiou (6,76 %) a enregistré le meilleur taux de mychorization avec *G. aggregatum*. Cependant, le mélange d'inoculum a présenté les meilleurs taux de mycorhization pour les provenances Ziguinchor (6,27 %) et Fatick (5,14%). Mais aucune différence significative n'a été notée entre l'intensité de mycorhization de Sédhiou, Ziguinchor et Fatick. Pour la provenance Kolda les plants inoculés avec *G. manihotis* s'est avéré le plus efficace avec (2,14 %) de taux de mychorization. Les taux de mycorhization les plus faibles ont été obtenu avec *G. fasciculatum* pour les provenances Sédhiou (0,73 %), Kolda (0,37 %) et Fatick (0,73 %) et avec *G. verruculosum* (0,4 %) pour la provenance Ziguinchor.

Tableau 12 : Taux de mycorhization des différentes provenances d'anacardier étudiées

Traitements	Taux de Mycorhization (%)			
	Ziguinchor	Sedhiou	Kolda	Fatick
Témoin	-	-	-	-
<i>G. aggregatum</i>	2,36 ± 0,91 ^{b-d}	6,76 ± 0,78 ^d	1,65 ± 0,81 ^a	1,48 ± 0,81 ^a
<i>G. fasciculatum</i>	1,96 ± 0,84 ^{ab}	0,73 ± 0,91 ^a	0,37 ± 0,91 ^a	0,73 ± 0,91 ^a
<i>G. verruculosum</i>	0,4 ± 0,96 ^a	2,11 ± 0,81 ^{ab}	0,77 ± 0,78 ^a	1,3 ± 0,87 ^a
<i>G. manihotis</i>	2,2 ± 0,78 ^{ab}	0,84 ± 0,91 ^a	2,14 ± 0,78 ^{ab}	0,84 ± 0,91 ^a
<i>Gigas. rosea</i>	-	5,02 ± 1,35 ^{cd}	0,73 ± 1,07 ^a	5,02 ± 1,35 ^{cd}
Mélange	6,27 ± 0,81 ^d	5,14 ± 0,78 ^d	0,56 ± 0,81 ^a	5,14 ± 0,78 ^d
Provenance	0,001**			
CMAs	0,0001***			
Provenance x CMAs	0,0001***			

G. : *Glomus* ; Gigas : *Gigaspora* ; CMAs : Champignons mycorhiziens à arbuscules. Dans chaque colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher. **Hautement significatif ; ***Très hautement significatif

4.2.4. Corrélation entre les différents paramètres étudiés

L'analyse de la matrice de corrélation (**Tableau 13**) montre que la dépendance mycorhizienne est corrélée positivement aux paramètres étudiés. Quant à l'intensité de mycorhization elle est négativement corrélée à la hauteur des plants (-0,088). Mais une corrélation positivement faible a été notée entre elle et les autres paramètres.

Tableau 13 : Matrice de corrélation (Pearson) des différents paramètres étudiés

Paramètres	Hauteur	Diamètre	NF	TC	DM	FM	IM
Hauteur	1						
Diamètre	0,956	1					
NF	0,940	0,989	1				
TC	0,887	0,943	0,886	1			
DM	0,463	0,611	0,513	0,819	1		
FM	0,592	0,803	0,799	0,800	0,760	1	
IM	-0,088	0,206	0,242	0,192	0,418	0,734	1

NF : Nombre de feuille ; TC : Teneur en Chlorophylle ; DM : Dépendance Mycorhizienne ; FM : Fréquence de mycorhization ; IM : Intensité de Mycorhization. Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

4.3. Discussion

Cette étude nous a permis d'évaluer l'effet de l'inoculation avec les CMAs sur les paramètres de croissance, la teneur en chlorophylle, la DM, la fréquence et l'intensité de mycorhization des plants d'anacardier cultivés en serre. Les résultats montrent que l'inoculation n'a pas d'effet significatif sur les paramètres de croissance ainsi que sur la teneur en chlorophylle quelle que soit la provenance de l'anacardier. L'anacardier pourrait être une espèce dont le développement dépend peu de la symbiose mycorhizienne. Les mêmes résultats ont été trouvés par (Balogoun et al., 2017) sur l'anacardier au Bénin. Les résultats obtenus rejoignent aussi ceux de (Assih et Nenonene, 2022) qui ont montré que l'inoculation de l'anacardier avec les champignons mycorhiziens à arbuscules n'avait aucun effet sur les paramètres de croissance de l'anacardier. Par contre un effet significatif de la provenance a été noté sur les différents paramètres de croissances étudiés. Les plants issus de la provenance Fatick ont obtenu les meilleurs résultats comparés aux autres provenances. La provenance Ziguinchor a enregistré les valeurs les plus faibles. Cette variation des paramètres de croissances en fonction de la provenance pourrait être due aux différentes zones agro écologiques de production des noix. Mais aussi ces provenances pourraient être des variétés d'anacardières différentes. Les travaux de Samb et al. (2018), ont

montré une grande variabilité qui caractérise les plantations d'anacardier dans ces deux zones agro-écologique. Les travaux antérieurs qu'on avait menés et qui porte sur la : Comparaison des paramètres morphologiques et de la capacité germinative des noix de cajou (*Anacardium occidentale* L.) provenant des quatre zones de production du Sénégal (Fatick, Sédhiou, Kolda et Ziguinchor) avait montré une variation des caractéristiques morpho-métriques des noix d'anacardier en provenance de ces deux zones. Ce qui corrobore avec les travaux de (Malou, 2014; Diédhiou, 2017) qui affirme que les paramètres morpho-métriques des noix de *Anacardium occidentale* varient suivant les variétés.

L'observation des structures mycorhiziennes telles que les vésicules et les hyphes dans les racines d'anacardier, montre que la DM de l'anacardier est relativement faible. Mais malgré cela, un faible taux de mycorhization a été observé pour l'ensemble des provenances étudiées. La provenance Sédhiou (6,76 %) a enregistré le meilleur taux de mycorhization avec *G. aggregatum*. Cependant, le mélange d'inoculum a présenté les meilleurs taux de mycorhization pour les provenances Ziguinchor (6,27 %) et Fatick (5,14%). Ces taux de mycorhization sont très faibles. Pour la provenance Kolda les plants inoculés avec *G. manihotis* s'est avéré le plus efficace avec (2,14 %) de taux de mycorhization. Cette faible mycorhization des plants d'anacardier en pépinière pourrait être due à la faible dépendance mycorhizienne de l'espèce. Les résultats obtenus corroborent avec ceux de (Goudiaby et al., 2018) qui avaient trouvé une faible mycorhization des plants (fréquence et intensité) d'anacardier en pépinière. Cela pourrait aussi s'expliquer par leur système racinaire pivotant et leurs besoins en éléments minéraux très faibles. En effet, selon les travaux de Ambouta et al. (2009), le faible taux de mycorhization observé chez *Leptadenia pyrotechnica* et *Maerua crassifolia* pourrait être dû à leur système racinaire très pivotant et leurs besoins en éléments minéraux très faibles.

Les résultats de la dépendance mycorhizienne montre qu'elle variait en fonction de la provenance. Une faible dépendance mycorhizienne a été enregistré quelle que soit la provenance d'anacardier. Les plants issus de la provenance de Sédhiou inoculé avec le mélange d'inoculum ont présenté la meilleure dépendance mycorhizienne (21,23%) pour cette provenance et pour l'ensemble des provenances étudiées. La dépendance mycorhizienne la plus importante (11,96 %) a été observée chez les provenances de Ziguinchor, Kolda et Fatick inoculés avec *G. verruculosum*. L'anacardier pourrait être une espèce à faible dépendance mycorhizienne. Nos résultats corroborent avec ceux de (Bâ et al., 1998 ; Guissou, 2001) qui avaient trouvé une faible dépendance mycorhizienne de *A. occidentale* avec une taux inférieur à 25 %. Il a été bien établi que la DM est souvent attribuée à une augmentation de l'absorption

de phosphore par les CMAs (Smith et Smith, 2011). Les travaux de Thioye (2017), ont montré une corrélation positive entre la concentration en P et la dépendance mycorhizienne chez les jujubiers. Cette dépendance est grandement déterminée par le génotype de la plante qui régit sa capacité à capter les macroéléments via des facteurs morphologiques comme la taille et la densité des poils absorbants, la géométrie du système racinaire, et son efficacité métabolique (Janos, 2007). Une faible dépendance mycorhizienne a aussi été trouvée chez *Adansonia digitata* L. (Mbaye et al., 2019). Contrairement à l'anacardier, *Ziziphus mauritiana* présente une forte DM (Thioye, 2017).

Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer l'effet de l'inoculation avec les CMAs sur la croissance des plants d'anacardier en milieu semi contrôlé. Les résultats obtenus sur l'ensemble des paramètres étudiés ont révélé que les CMAs n'ont pas d'effet significatif sur les paramètres de croissance. Les taux de mycorhization et la dépendance mycorhizienne de l'espèce sont faibles pour les quatre provenances étudiées. La meilleure dépendance mycorhizienne a été obtenue par la provenance Sédhiou inoculée avec le mélange d'inoculum. Les autres provenances sont plus dépendantes à l'inoculum *G. verruculosum*. L'utilisation des champignons mycorhiziens seuls comme biofertilisant pour la culture de l'anacardier semble être peu efficace pour le développement de l'anacardier. Pour une meilleure amélioration de la productivité de l'anacardier, le choix du matériel végétal est d'une extrême importance. Donc l'étude des caractères morphologiques des noix et de leur relation avec la germination des noix pourrait être une étape très importante pour la sélection du matériel végétal de qualité.

**CHAPITRE 5 : EFFETS COMBINES DE
L'INOCULATION AVEC DES CMAS ET DE LA
FERTILISATION AVEC DU PHOSPHATE
NATUREL SUR LA CROISSANCE DE PLANTS
D'ANACARDIER (*ANACARDIUM
OCCIDENTALE.L*) EN MILIEU SEMI
CONTROLE**

Résumé

L'agriculture conventionnelle caractérisée par une utilisation de pesticides et d'engrais chimiques entraîne de nombreuses répercussions sur l'environnement particulièrement sur la dégradation de la fertilité des sols. Pour atténuer ces effets, l'agriculture biologique basée sur l'utilisation de biofertilisant comme les champignons mycorhiziens à arbuscules et le phosphate naturel pourrait être un alternatif. C'est dans ce contexte que cette étude a été mise en place pour évaluer l'effet combiné de l'inoculation avec les champignons mycorhiziens à arbuscules et le phosphate naturel sur le comportement de jeunes plants d'anacardier en serre. Pour atteindre cet objectif un dispositif expérimental en bloc complètement randomisé a été mis en place. Quatre provenances d'anacardier du Sénégal (Ziguinchor, Sédhiou, Kolda et Fatick) ont été utilisées. Une dose (20 g) d'inoculum mixte composé de *Glomus aggregatum*, *Glomus fasciculatum* et *Gigaspora rosea* et trois doses de phosphate naturel (0g, 1,062 g et 2,125 g) provenant de Lam-Lam (Thiès, Sénégal) ont été utilisés. Les paramètres de croissance, la teneur en chlorophylle, la biomasse (aérienne et racinaire), la fréquence et l'intensité de mycorhization des plants ont été évalués après quatre mois de culture en serre. Les résultats obtenus révèlent un effet de la combinaison quelle que soit la provenance sur le diamètre des plants à deux mois de culture. Le phosphate naturel a eu un effet sur la biomasse racinaire fraîche des plants des quatre provenances. Les meilleures fréquences (35, 26 % à 67, 69 %) et intensités (11, 27 % à 26, 49 %) de mycorhization ont été obtenues par le traitement inoculé uniquement. Sauf pour la provenance Fatick où l'effet de l'association a eu la meilleure fréquence (59,4 %) et intensité (22, 56%) de mycorhization. La combinaison de ces deux biofertilisants pourrait être une alternative de production d'un matériel végétal performant pour booster les rendements dans les plantations.

Mots clés : *Anacardium occidentale*, Champignons mycorhiziens à arbuscules, Phosphate naturel, productivité, Sénégal

Abstract

Conventional agriculture characterized by the use of pesticides and chemical fertilizers has numerous repercussions on the environment, particularly on the degradation of soil fertility. To mitigate these effects, organic farming based on the use of biofertilizers such as arbuscular mycorrhizal fungi and natural phosphate could be an alternative. It is in this context that this study was set up to evaluate the combined effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and natural phosphate on the behavior of young cashew plants in a greenhouse. To achieve this objective, a completely randomized block experimental design was set up. Four sources of cashew from Senegal (Ziguinchor, Sédhiou, Kolda and Fatick) were used. A dose (20 g) of mixed inoculum composed of *Glomus aggregatum*, *Glomus fasciculatum* and *Gigaspora rosea* and three doses of natural phosphate (0 g, 1.062 g and 2.125 g) from Lam-Lam (Thiès, Senegal) were used. Growth parameters, chlorophyll content, biomass (aerial and root), frequency and intensity of mycorrhization of the plants were evaluated after four months of cultivation in a greenhouse. The results obtained reveal an effect of the combination whatever the origin on the diameter of the plants after two months of cultivation. Natural phosphate had an effect on the fresh root biomass of plants from the four provenances. The best frequencies (35, 26 % à 67, 69 %) and intensities (11, 27 % à 26, 49 %) of mycorrhization were obtained by the inoculated treatment only. Except for the Fatick provenance where the effect of the association had the best frequency (59, 4 %) and intensity (22, 56%) of mycorrhization. The combination of these two biofertilizers could be an alternative for producing high-performance plant material to boost yields in plantations.

Keywords *Anacardium occidentale*, Arbuscular mycorrhizal fungus, Natural phosphate, Productivity, Sénégal

Introduction

L'amélioration de la productivité agricole est actuellement une tâche difficile en raison des effets du changement climatique (Moretti et *al.*, 2010), la pollution de l'environnement, la dégradation accélérée des écosystèmes et la disparition de la biodiversité des sols (Singh et Singh, 2017). L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) qui est un arbre dont la culture contribue au développement socio-économique de plusieurs pays du monde (Yabi et *al.*, 2013 ; Balogoun et *al.*, 2014) n'échappe pas à ces contraintes.

Au Sénégal, la culture de l'anacardier se fait principalement dans deux zones agro-écologiques : la Casamance (Ziguinchor, Sédhiou et Kolda) qui assure 90 % de cette production et le bassin arachidier (Fatick). La forte demande en noix de cajou qui s'est traduit par l'augmentation des prix sur le marché international (Diomande et *al.*, 2021) a eu pour conséquence une augmentation rapide des superficies. Selon Samb et *al.* (2018), dans la région de la Casamance, de 1986 à 2017, les superficies des plantations de l'anacardier sont passées de 910,55 km² à 1908,5 km². Malgré cette augmentation des superficies culturales, une faible productivité des plantations d'anacardier a été notée par (Ndiaye et *al.*, 2017) et le Sénégal ne contribue qu'à environ 0,8 pour cent de la production mondiale.

Cette faible productivité des vergers d'anacardiers serait la conséquence de nombreuses contraintes notamment la non adoption des bonnes pratiques agricoles, la mauvaise qualité du matériel végétal (Djaha et *al.*, 2012), les effets du changement climatique (Balogoun et *al.*, 2016), la baisse de fertilité des sols (Habibu et *al.*, 2021), la pression parasitaire (Banito et *al.*, 2021) et le manque de moyens de fertilisation des terres, de moyens de lutte contre les feux de brousse, etc. (Ndiaye et *al.*, 2017).

Plusieurs auteurs comme Adejumo (2010) ; Gardi et *al.* (2013) ; Widiatmaka et *al.* (2014) Mangalassery et *al.* (2019) estiment que le faible niveau de fertilité des sols est l'un des plus importants facteurs limitant la productivité en noix d'anacarde. Les travaux de Ndiaye et *al.* (2020), sur les sols des plantations d'anacardier en Casamance, qui est l'une des plus importantes zones de production du Sénégal est caractérisée par des faibles rendements qui confirment ce faible niveau de fertilité.

Par ailleurs, dans les agroécosystèmes africains la disponibilité du phosphore (P) du sol assimilable par les plantes constitue aussi un facteur limitant de la production agricole (Compaore et *al.*, 2003). C'est la raison pour laquelle il est parfois nécessaire d'appliquer des engrais supplémentaires. Cependant, l'application excessive d'engrais chimiques peut

provoquer des déséquilibres majeurs conduisant à une dégradation écologique du milieu souterrain (Sharma et Singhvi, 2017).

Une des stratégies possibles pour améliorer les rendements est la mise en place de pratiques agricoles reposant sur les processus et les fonctionnalités écologiques et agro-écologiques (utilisation des ressources naturelles du sol, recyclage des nutriments, choix du matériel végétal, gestion des intrants organiques et minéraux). Pour cela, certains microorganismes du sol sont reconnus être très efficaces dans la solubilisation des phosphates insolubles dans le sol et pourraient offrir d'énormes opportunités pour améliorer la solubilité des Phosphates Naturels (Park et *al.*, 2011). En effet, le phosphate naturel est généralement considéré comme une roche à faible réactivité chimique, de sorte que ses caractéristiques de libération très lente le rendent peu adapté à une application directe sur le sol (Nakamura et *al.*, 2013). Son association avec les champignons mycorhiziens à arbuscules peut le rendre soluble et disponible pour la plante. Des études antérieures ont montré que les CMA sont reconnus être très efficaces dans la mobilisation du Phosphore des phosphates naturels (PN) au bénéfice de la plante (Park et *al.*, 2011 ; Taktek, 2015).

L'association des champignons mycorhiziens à arbuscules et du phosphate naturel pourrait donc être une voie agro-écologique d'amélioration de la vigueur et de la productivité de l'anacardier. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer l'effet de l'association des champignons mycorhiziens à arbuscules et du phosphate naturel sur la production de plants améliorés en pépinière. Il s'agira spécifiquement d'évaluer les paramètres de croissance, la biomasse racinaire et aérienne, la fréquence et l'intensité de mycorhization des plants en serre.

5.1. Matériel et méthodes

5.1.1. Mise en place du dispositif expérimental

L'étude a été menée en serre au niveau de l'Institut de Recherche pour le Développement de Hanne Bel Air (Dakar). Un dispositif expérimental en bloc complètement randomisé a été utilisé (**Figure 23**). Trois facteurs ont été étudiés :

- Facteur 1 : «inoculation» avec 2 modalités (Non inoculé et inoculé)

Un inoculum mixte qui a été utilisé dans cette étude. La composition de cet inoculum a été faite après avoir effectué un test de la qualité de l'inoculum sur cinq inocula (*Glomus fasciculatum*, *Glomus aggregatum*, *Glomus verruculosum*, *Glomus manihotis* et *Gigaspora rosea*) à l'aide de la méthode du MPN (le nombre le plus probable de propagule viable). A l'issue de ce test il est apparu que *Glomus aggregatum* IR27 (Thioye, 2017), *Glomus fasciculatum* (Tahirou Diop, Sénégal, 1994) et *Gigaspora rosea* (Tahirou Diop, Canada, 2004) avaient les plus grand MPN.

Une moyenne de 990 propagules / 100 g de sol a été trouvées sur ces inocula. C'est trois inocula ont été utilisés pour formuler un inoculum mixte. L'inoculum a été apporté à la dose de 20 g / gaine (avec une densité de 198 propagules / gaine).

- Facteur 2 : «provenance» avec 4 modalités (Ziguinchor, Fatick, Kolda et Sédhiou) ;
- Facteur 3 : «fertilisation» avec du Phosphate Naturel (PN) avec 3 modalités 0PN, 1/2PN et PN respectivement (0g PN, 1,062 g PN et 2,125 g de PN)

Ces doses ont été obtenues en référence aux travaux de Lefebvre (1970) sur les doses d'éléments minéraux à apporter à la culture de l'anacardier. Le phosphate naturel qu'on a utilisé dans l'étude provient de Lam-Lam situé dans la commune de Chérif Lô (Thiès, Sénégal) avec une teneur en P_2O_5 de 32%. Après détermination de la dose de phosphore recommandé par les travaux de Lefebvre (1970), on a ajouté à notre dispositif deux autres doses supplémentaires. Ces dernières ont été rajoutées pour mieux voir l'effet de différentes doses de phosphate et de l'inoculum sur le développement des plants.

Le dispositif mis en place comporte vingt-quatre traitements ($4 \times 3 \times 2$) soit 6 traitements par provenance avec 10 répétitions par traitements et une unité expérimentale. Ce qui a fait un total de 240 plants.

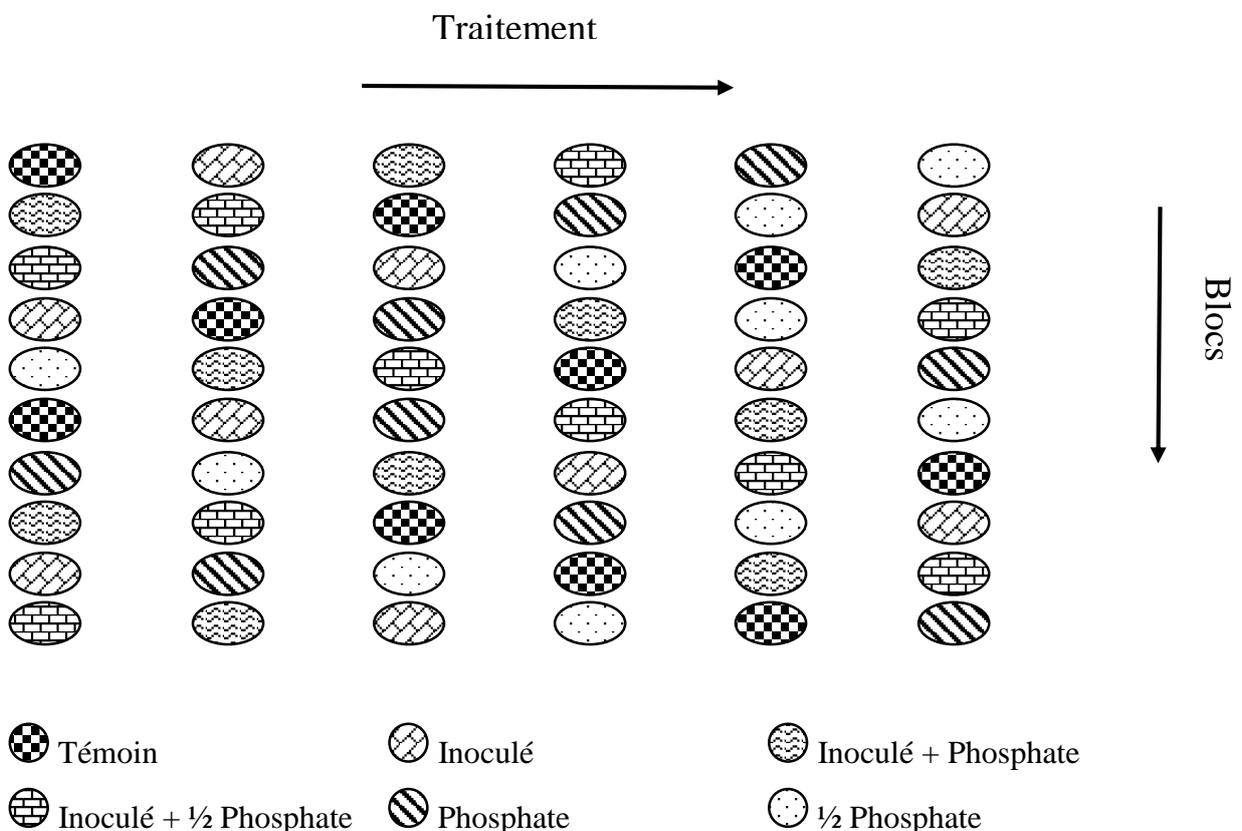


Figure 23 : Dispositif expérimental en bloc complètement randomisé pour une provenance

5.1.2. Rempotage des gaines

Du sol provenant de sangalkam situé 50 km à l'Est de Dakar a été utilisé comme substrat de culture de l'anacardier. Le sol a été stérilisé à 120°C pendant 3 heures. Les gaines de 17 cm de longueur et 7,5 cm de largeur ont été utilisées et remplies de sol à 90%.

5.1.3. Prétraitement des noix

Les graines ont subi d'abord un test de flottaison pour tester la qualité des semences mais aussi pour améliorer le taux de germination. Quatre seaux en plastique de 10 L ont été utilisés (un seau pour une provenance). Les seaux ont été remplis à moitié d'eau de robinet. Au niveau de chaque seau, une provenance d'anacardier et une quantité de 500g de sel a été ajoutée. Au bout de 4 à 6 heures les noix flottantes ont été enlevées et mises à l'écart car elles constituent des noix de mauvaise qualité pour la germination. Les seaux ont été vidés de leur eau. De l'eau de robinet a été mise de nouveau dans les seaux, mais cette fois-ci sans du sel. L'eau a été renouvelée tous les 6H pendant 48H pour améliorer la capacité germinative des noix.

5.1.4. Semis, inoculation et fertilisation

Après trempage, les noix ont été semées en raison d'une noix par gaines. Au total 240 noix ont été semées, environ 1kg/provenance. Une réserve de 10% a été faite pour remplacer les noix non germées. L'inoculation et la fertilisation ont été faites en même temps que le semis. L'inoculum a été apporté à raison de 20 g d'inoculum /gaine. L'inoculum de chaque CMA est composé d'un mélange de sable (substrat de culture), de fragments de racines mycorhizées (système racinaire du maïs), de spores et d'hyphes du CMA. Le nombre de propagules viables dans chaque inoculum a été déterminé au préalable par la Méthode du MPN « Most Probable Number » (Adelman et Morton, 1986) avant le démarrage de l'essai.

La fertilisation quant à elle est constituée du phosphate naturel à différentes doses (0g, 1,062 g et 2,125 g de PN).

5.1.5. Suivi et mesure des paramètres de croissance et de la teneur en chlorophylle

Après semis, les gaines ont été arrosées journalièrement jusqu'à la capacité au champ. Cette fréquence d'arrosage a été maintenue jusqu'à la germination des noix. Après germination, l'arrosage se faisait tous les deux jours. Un mois après germination, des mesures de la hauteur et du diamètre au collet ont été effectuées, de même que le comptage du nombre de feuilles par plant et la prise de la teneur en chlorophylle. Ces mesures ont été faites tous les mois jusqu'à quatre mois de culture. Les variables ont été mesurées à l'aide d'une règle (hauteur), d'un pied à coulisse (diamètre au collet) et d'un Spad (teneur en chlorophylle).

5.1.6. Récolte et conservation des plants

La récolte a été faite après quatre mois de culture. Elle a duré deux jours :

- Le premier jour, la moitié des plants de chaque traitement a été récolté. La partie aérienne et racinaire fraîche a été pesée séparément pour chaque plante et mis dans des enveloppes, étiquetés et mis à l'étuve pendant 72h à 70°C.
- Le deuxième jour, l'autre moitié des plantes a été récoltée et la partie racinaire a été lavée minutieusement et mis dans des pots. Les pots sont étiquetés, puis conservés dans une chambre froide en attendant l'observation de la colonisation mycorhizienne.

5.1.7. Observation et estimation de la colonisation mycorhizogène des racines

La mise en évidence de la colonisation mycorhizogène du système racinaire a été faite après coloration au Bleu de Trypan. Elle a consisté tout d'abord à un rinçage abondant des racines à l'eau distillée et ensuite à une décoloration des racines dans du KOH (hydroxyde de potassium) à 10%. Cette décoloration a été faite en deux temps. Dans un premier temps, les tubes contenant les racines et le KOH ont été mis dans le bain marie pendant 1 heure 30 minutes à 90°C. Après écoulement du temps fixé, les racines ont été vidées du KOH. Dans un deuxième temps du KOH a été à nouveau mis dans les tubes et placé au bain marie. Cette fois pour une durée d'une heure de temps. Cela a permis de vider les cellules racinaires par osmose afin de rendre les tissus clairs. Après cela les racines ont été rincées dans une solution d'eau acidifiée à l'HCL puis ont été colorées par une solution contenant du bleu de trypan à 0,05% pendant 15 à 30 minutes à 90°C.

Le taux de mycorhization a été déterminé après avoir placé entre lame et lamelle des racines colorées. Chaque échantillon est représenté par 5 lames (répétitions) préparées avec 50 fragments racinaires colorés au Bleu Trypan. Ces derniers ont été déposés délicatement sur les lames, recouverts d'acide lactique 50 % et de lamelles (McGonigle et *al.*, 1990). Au total 600 lames ont été préparées.

La fréquence de mycorhization ainsi que l'intensité de mycorhization ont été analysées selon la méthode de Trouvelot et *al* (1986) en utilisant une gamme d'intensité de colonisation qui est notée de zéro (0) à cinq (5) (**Figure 24**). Les observations ont été faites avec un microscope à fluorescence (Olympus BX50) afin d'exciter à l'UV les structures fongiques présentes.

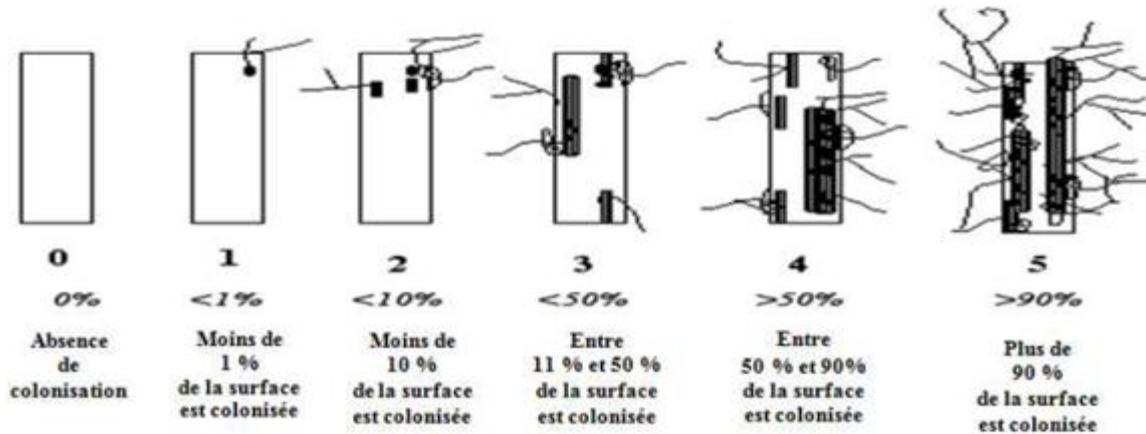


Figure 24 :Notation de l'infection mycorhizienne (classe 0 à classe 5) (Trouvelot et *al.*, 1986)

La fréquence et l'intensité de mycorhization sont calculées selon les formules suivantes:

$$\text{Fréquence de mycorhization \%} = \frac{\text{Nombre de fragments mycorhizés}}{\text{Nombre total de fragments observés}} * 100$$

$$\text{Intensité de mycorhization \%} = \frac{(95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1)}{\text{Nombre total de fragments observés}} * 100$$

n_5 = nombre de fragments notés 5;

n_4 = nombre de fragments notés 4;

n_3 = nombre de fragments notés 3;

n_2 = nombre de fragments notés 2;

n_1 = nombre de fragments notés 1

5.1.8. Traitement et analyse des données

Une ANOVA à 3 facteurs a été utilisée pour le traitement des données à l'aide du logiciel XLSTAT version 2016. Les différences significatives entre les provenances, l'inoculum et les doses ont testées en utilisant la différence la moins significative de Fisher (LSD) pour $P < 0,05$.

5.2. Résultats

5.2.1. Effet de l'inoculation et de la fertilisation phosphatée sur les paramètres de croissances et la teneur en chlorophylle

5.2.1.1. Sur la hauteur

L'analyse du tableau d'analyse de la variance de la hauteur des plants d'anacardier **Tableau 14** montrent que pour les facteurs étudiés seule la provenance à un effet significatif sur la hauteur des plants ($P < 0,05$) durant toute la durée de l'essai sauf au troisième. L'interaction des différents facteurs étudiés n'avait aucun effet sur la hauteur des plants ($P > 0,05$) durant les quatre mois de culture.

Tableau 14 : Analyse de la variance de la hauteur des plants d'anacardier

	Hauteur (cm)			
	1 ^e mois	2 ^e mois	3 ^e mois	4 ^e mois
Pr > F	0,001	0,016	0,226	0,106
Provenance	< 0,0001***	0,000***	0,140 ^{ns}	0,049*
CMAAs	0,234 ^{ns}	0,884 ^{ns}	0,992 ^{ns}	0,749 ^{ns}
PN	0,917 ^{ns}	0,332 ^{ns}	0,484 ^{ns}	0,529 ^{ns}
Provenance*	0,446 ^{ns}	0,237 ^{ns}	0,207 ^{ns}	0,144 ^{ns}
CMAAs*PN				

PN : Phosphate ; CMAAs : Champignons mycorhiziens à arbuscules ; ns : la différence n'est pas significative ; * : la différence est significative ; ** : la différence est hautement significative ; *** : la différence est très hautement significative.

5.2.1.2. Sur le diamètre au collet

Le **Tableau 15** d'analyse de la variance du diamètre au collet des plants d'anacardier montre que que parmi les facteurs étudiés seule la provenance a eu un effet durant toute la durée de l'essai ($P < 0,05$). Les facteurs inoculation et phosphate naturel ont eu un effet significatif à partir du deuxième mois de culture ($P < 0,05$). L'interaction des différents facteurs étudiés n'a eu aucun effet sur le diamètre des plants ($P > 0,05$).

Tableau 15 : Analyse de la variance du diamètre au collet des plants d'anacardier

	Diamètre (mm)			
	1 ^e mois	2 ^e mois	3 ^e mois	4 ^e mois
Pr > F	< 0,0001***	< 0,0001***	< 0,0001***	< 0,0001***
Provenance	< 0,0001***	< 0,0001***	< 0,0001***	< 0,0001***
CMAAs	0,790 ^{ns}	0,045*	0,031*	0,015*
PN	0,100 ^{ns}	0,025*	0,022*	0,069 ^{ns}
Provenance*	0,590 ^{ns}	0,247 ^{ns}	0,212 ^{ns}	0,607 ^{ns}
CMAAs*PN				

PN : Phosphate ; CMAAs : Champignons mycorhiziens à arbuscules. ns : la différence n'est pas significative ; * : la différence est significative ; ** : la différence est hautement ; *** : la différence est très hautement significative.

5.2.1.3. Sur le nombre de feuille

L'analyse du **Tableau 16** montre que l'interaction (provenance, inoculation et phosphate naturel) n'avait aucun effet sur le nombre de feuille des plants ($P > 0,05$) durant toute la durée de l'essai. Parmi les facteurs étudiés seule la provenance a eu un effet ($P < 0,05$) durant les quatre mois de culture des plants.

Tableau 16 : Analyse de variance du nombre de feuille des plants d'anacardier

	Nombre de feuilles			
	1 ^e mois	2 ^e mois	3 ^e mois	4 ^e mois
Pr > F	< 0,0001***	0,022*	0,027*	0,024*
Provenance	< 0,0001***	< 0,000***	0,041*	0,007**
CMAAs	0,664 ^{ns}	0,799 ^{ns}	0,890 ^{ns}	0,832 ^{ns}
PN	0,318 ^{ns}	0,560 ^{ns}	0,302 ^{ns}	0,313 ^{ns}
Provenance*	0,603 ^{ns}	0,247 ^{ns}	0,058 ^{ns}	0,116 ^{ns}
CMAAs*PN				

PN : Phosphate ; CMAAs : Champignons mycorhiziens à arbuscules ; ns : la différence n'est pas significative ; * : la différence est significative ; ** : la différence est hautement significative ; *** : la différence est très hautement significative.

5.2.1.4. Sur la teneur en chlorophylle

La teneur en chlorophylle des plants d'anacardier durant toute la durée de l'expérimentation a été présentée dans le (**Tableau 17**). L'analyse de variance montre que le facteur provenance a eu un effet significatif sur la teneur en chlorophylle des plants ($P < 0,05$) au quatrième mois de culture. Les autres facteurs, de même que leur interaction n'ont pas eu d'effet significatif sur la teneur en chlorophylle des plants ($P > 0,05$).

Tableau 17 : Analyse de variance de la teneur en chlorophylle des plants d'anacardier

	Teneur en chlorophylle			
	1 ^e mois	2 ^e mois	3 ^e mois	4 ^e mois
Pr > F	0,961 ^{ns}	0,438 ^{ns}	0,117 ^{ns}	0,001**
Provenance	0,564 ^{ns}	0,184 ^{ns}	0,130 ^{ns}	< 0,0001***
CMAAs	0,313 ^{ns}	0,935 ^{ns}	0,331 ^{ns}	0,933 ^{ns}
PN	0,867 ^{ns}	0,827 ^{ns}	0,321 ^{ns}	0,611 ^{ns}
Provenance*	0,940 ^{ns}	0,571 ^{ns}	0,183 ^{ns}	0,095 ^{ns}
CMAAs*PN				

PN : Phosphate ; CMAAs : Champignons mycorhiziens à arbuscules ; ns : la différence n'est pas significative ; * : la différence est significative ; ** : la différence est hautement significative ; *** : la différence est très hautement significative.

5.2.2. Effet de l'inoculation et de la fertilisation phosphatée sur les biomasses aérienne et racinaire (fraiche et sèche)

L'analyse de la variance au niveau du **Tableau 18** montre que la provenance a effet significatif sur les biomasses racinaire et aérienne (fraiche et sèche) de l'anacardier ($P < 0,05$).

L'inoculation n'a montré aucun effet sur les biomasses ($P > 0,05$). La fertilisation phosphatée quant à lui a eu un effet sur la biomasse racinaire fraîche ($P < 0,05$). L'interaction des facteurs étudiés n'a eu aucun effet sur les biomasses ($P > 0,05$).

Tableau 18 : Analyse de variance des biomasses aérienne et racinaire (fraîche et sèche) des plants d'anacardier

Paramètres Traitements	Ziguinchor	Sédhiou	Kolda	Fatick	Provenance	CMA's	PN	Provenance x CMA's x PN
Témoin	16,58 ± 2,18 ^{b-f}	17,96 ± 2,18 ^{a-f}	20,77 ± 2,18 ^{a-c}	16,76 ± 2,18 ^{b-f}				
IN	17,85 ± 2,44 ^{a-f}	14,31 ± 3,45 ^{c-f}	14,9 ± 2,81 ^{c-f}	13,08 ± 2,18 ^{ef}				
IN + PN	12,21 ± 2,29 ^f	16,38 ± 2,81 ^{b-f}	15,69 ± 2,18 ^{c-f}	12,49 ± 2,18 ^f				
BRF (g)					0,04	0,24 ^{ns}	0,003 ^{**}	0,49 ^{ns}
IN + ½ PN	19,38 ± 2,1 ^{a-e}	22,79 ± 2,81 ^{ab}	24,53 ± 2,44 ^a	20,28 ± 2,81 ^{a-d}				
PN	16,87 ± 1,94 ^{b-f}	16,38 ± 2,81 ^{b-f}	18,74 ± 2,18 ^{a-f}	13,9 ± 2,18 ^{df}				
½ PN	17,06 ± 1,94 ^{b-f}	19,62 ± 2,18 ^{a-e}	16,9 ± 2,18 ^{b-f}	12,86 ± 2,18 ^{ef}				
BRS (g)					0,03 [*]	0,71 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,46 ^{ns}
BAF (g)					0,04 [*]	0,49 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,17 ^{ns}
BAS (g)					0,01 [*]	0,81 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,09 ^{ns}

CMA's : Champignons mycorhiziens à arbuscules ; BRF : Biomasse racinaire fraîche ; BRS : Biomasse racinaire sèche ; BAF : Biomasse aérienne fraîche ; BAS : Biomasse aérienne sèche ; Dans chaque colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher ; ns : la différence n'est pas significative ; * : la différence est significative ; ** : la différence est hautement significative

5.2.3. Effet de l'inoculation sur la fréquence et l'intensité de mycorhization

L'analyse du **Tableau 19** montre que les facteurs provenance, l'apport de (CMA + Phosphate) ont un effet sur la fréquence et l'intensité de mycorhization ($P < 0,05$). Le facteur provenance a un effet très hautement significatif sur la fréquence et intensité de mycorhization. La fréquence et l'intensité de mycorhization chez les différentes provenances a été plus élevée chez les plants inoculés uniquement comparés aux plants inoculés avec ajout de phosphate. Sauf pour la provenance Fatick où la meilleure intensité a été observée chez le traitement (IN + 1/2PN) La meilleure fréquence de mycorhization (67,69%) a été enregistrée chez la provenance Sédhiou. Mais cette dernière n'était pas significativement différente de la provenance Ziguinchor (59,23%). La provenance Kolda a enregistré la plus faible fréquence (35,26%) et intensité (11,27%) de mycorhization. L'intensité de mycorhization la plus importante a été observée à Sédhiou (26,49%). Mais elle n'était pas significativement différente de celle de Ziguinchor (20,1%).

Tableau 19 : Effet de l'inoculation et de la fertilisation phosphatée sur la fréquence et l'intensité de mycorhization des plants

Paramètres	Ziguinchor	Sédhiou	Kolda	Fatick	P- value	
Fréquence de Mycorhization (%)	IN	59,23 ± 4,96 ^{de}	67,69 ± 4,96 ^e	35,26 ± 4,1 ^{a-c}	43 ± 4 ^{b-d}	Provenance = 0,0001***
	IN + PN	46,33 ± 4,61 ^{cd}	48 ± 4 ^{cd}	27,75 ± 4 ^{ab}	45 ± 4 ^{cd}	CMAAs + PN = 0,002**
	IN + ½ PN	50,6 ± 3,57 ^{cd}	29 ± 5,65 ^{ab}	25,25 ± 4 ^a	59,4 ± 3,57 ^{de}	Provenance x (CMAAs + PN) = 0,0001***
Intensité de Mycorhization (%)	IN	20,1 ± 2,98 ^{b-d}	26,49 ± 2,98 ^d	11,27 ± 2,47 ^{a-c}	15,38 ± 2,4 ^{a-c}	Provenance = 0,0001***
	IN + PN	14,98 ± 2,78 ^{a-c}	15,8 ± 2,4 ^{ac}	9,24 ± 2,4 ^{ab}	17,62 ± 2,4 ^{a-d}	CMAAs + PN = 0,04*
	IN + ½ PN	16,95 ± 2,15 ^{a-d}	7,61 ± 3,4 ^a	8,59 ± 2,5 ^{ab}	22,56 ± 2,15 ^{cd}	Provenance x (CMAAs + PN) = 0,001**

CMAAs : Champignons mycorhiziens à arbuscules. Dans chaque colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Fisher ; * : la différence est significative ; ** : la différence est hautement significative ; *** : la différence est très hautement significatif

5.3. Discussion

Cette étude a porté sur l'évaluation de l'impact de l'inoculation et de la fertilisation phosphatée sur les paramètres de croissance, les biomasses aérienne et racinaire, la fréquence et l'intensité de mycorhization. Les résultats obtenus montrent que l'inoculation seule n'a pas eu d'effet significatif sur les paramètres de croissance sauf pour le diamètre dont l'effet a été observé à partir du deuxième mois. Cela pourrait être dû au fait que l'anacardier est une plante rustique et dont le développement dépend peu de l'inoculation avec les CMAs. Les travaux de Haugen et Smith (1993), ont montrés que les plantes à grosses graines sont susceptibles d'être moins dépendantes aux apports externes de nutriments (absorbés par les racines ou les mycorhizes). Car selon Murali (1997), la réserve alimentaire et les niveaux de glucose varient selon la taille des graines. L'effet de l'inoculation observé sur le diamètre des plants à partir du deuxième mois de culture pourrait être dû à son association avec le phosphate naturel (PN). Les résultats obtenus montrent que le phosphate naturel associé ou non aux CMAs a eu un impact significatif sur le diamètre des plants à partir du deuxième mois de culture des plants en serre. Des travaux antérieurs ont montrés que les engrais qui libèrent lentement les nutriments peuvent stimuler les CMAs (Hinsinger *et al.*, 2015 ; Adjanohoun *et al.*, 2017) et contribuer à la mobilisation du Phosphore des phosphates naturels (PN) au bénéfice de la plante hôte (Taktek, 2015). L'effet contraire de cette association a été noté chez les différents jujubiers étudiés pas (Thioye, 2017). L'inoculation seule avec les CMAs n'a pas augmenté les biomasses racinaire et aérienne comparé au traitement témoin. Par contre le phosphate naturel a augmenté la biomasse racinaire fraîche des plants. Le traitement (IN + 1/2PN) a été la meilleure combinaison pour toutes les provenances. Cela pourrait être dû au fait que le phosphate naturel agit sur le développement de la partie racinaire de l'anacardier. En effet, l'apport de phosphore au semis favorise la vigueur au démarrage et stimule la croissance du système racinaire afin de lui permettre d'explorer rapidement les réserves du sol (UNIFA, 2018). Selon Diulyale *et al.* (2019), les jeunes plants et les plants de gros diamètre ont un système racinaire bien développé leur permettant de mobiliser les éléments nutritifs.

L'intensité de mycorhization des plants est aussi faible avec ou sans apport de phosphate. La faible intensité de mycorhization observée chez l'anacardier pourrait être due à la nature peu mycotrophe de l'espèce. Les résultats du chapitre précédent confirment ceux-ci. De même, les travaux de Goudiaby *et al.* (2018), corroborent avec ceux-ci. L'intensité de mycorhization chez les différentes provenances a été plus élevée chez les plants inoculés uniquement comparés aux plants inoculés avec ajout de phosphate. Sauf la provenance Fatick où la meilleure intensité a été observée chez le traitement (IN + 1/2PN). Les intensités de mycorhization varient de 11,27

à 26,49 % selon la provenance. L'apport de phosphate pourrait inhiber le développement des champignons mychoriziens d'où la valeur de l'intensité de mychorization trouvé chez les plants inoculés uniquement comparé aux autres traitements. Selon les travaux de Prakash *et al.* (2004), l'intensité d'infection racinaire par les CMA est réduite quand le niveau de phosphore augmente dans le sol et devient ainsi directement assimilable par la plante mycorhizée. De même Breuillin *et al.* (2010), ont montré que le niveau de fertilité du sol, notamment le taux élevé de phosphore, inhibait la symbiose plante-CMA et dans certains cas éliminait l'effet des champignons mycorhiziens.

Conclusion

Au vu des résultats obtenus, l'efficacité de l'inoculation sur le diamètre des jeunes plants d'anacardier pourrait être améliorée par son association avec le phosphate naturel. Le diamètre des plants s'est vu être amélioré dès le deuxième mois de culture. La biomasse racinaire fraîche des plants a été améliorée par le phosphate naturel. Le traitement (IN + 1/2PN) a été le meilleur traitement pour toutes les provenances.

Les taux de mycorhization sont faibles pour toutes les provenances étudiées même avec l'ajout du phosphate naturel. Mais l'association a été bénéfique pour les plants issus de la provenance Fatick. Pour les autres provenances l'inoculation seule a donné les meilleurs taux de mycorhization.

En somme on peut dire que l'ajout du phosphate naturel en pépinière pourrait être une solution pour améliorer la robustesse des plants d'anacardier en pépinière de surcroît la production de l'anacardier. Le traitement (IN + 1/2PN) pourrait être adopté par les producteurs pour une production de plants de qualité en pépinière.

DISCUSSION GENERALE

1. Relation entre morphométrie des noix et le rendement

La noix de cajou (*Anacardium occidentale* L.) est l'une des cultures horticoles importantes, qui revêt une grande importance socio-économique et environnementale. Son amélioration variétale fait toujours recours aux méthodes traditionnelles de sélection, basées sur les traits phénotypiques d'intérêt que sont la taille et le poids de la noix, le sex ratio, la longueur de l'inflorescence et la productivité (Mnoney et al., 2001). Dans l'étude présente les critères de sélection utilisés sont la taille et le poids des noix. Il ressort des résultats une variation des différents paramètres étudiés en fonction de la provenance. Cette variabilité pourrait être due à la différence de matériel génétique mais aussi à la nature de l'écosystème dans lequel la plante évolue. Ce résultat corrobore ceux de Wallis et al. (2016) dans la population d'anacardier au Bénin, ceux de Ona et al. (2017) ; Sultana et al. (2022) au Bangladesh et ceux de Sankhare (2018) sur l'étude du phénotypage des anacardiens de la sélection massale dans la région de Fatick (Sénégal). Le poids des noix obtenu dans cette étude était de (9,66 g) pour la provenance de Fatick, 9,3 g, 6,61 g et 6,5 g respectivement pour les provenances de Sédhiou, Ziguinchor et Kolda. Cette variation du poids des noix pourrait être due aux facteurs environnementaux (type de sols, climat et pluviométrie). Selon Jena et al. (2016), les caractéristiques morphologiques sont fortement influencées par les effets environnementaux avec une faible héritabilité. Le poids moyen des noix des provenances Fatick et Sédhiou est comparable celui trouvé par Dadzie et al. (2014) 8,6 g pour le clone W227 au Ghana, Hore et al. (2015) 8,64 à 9,45 g et Singh et al. (2010) 9,26 à 9,95 g. Par ailleurs, le poids des noix obtenus sur les provenances de Fatick (9,66 g) et de Sédhiou (9,3 g), sont de loin supérieur à ce trouvé par Wallis et al. (2016) au Bénin (7,90 g) et par Vikram et al. (2013) en Inde (7,93 g). Ce caractère revêt une grande importance en amélioration variétale parce qu'il présente une forte corrélation positive avec le poids des amandes selon (Aliyu et Awopetu, 2011).

Le rendement représente également l'un des éléments essentiels à considérer dans presque tout programme d'amélioration. Selon Ndiaye (2023), le rendement en noix des trois régions de production de la noix d'anacardier en Casamance variait entre 6,5 kg/pied et 16,8 kg/pied par pied. Ces valeurs sont de très loin supérieurs à ceux obtenus par (Samb et al., 2018b) sur les plantations d'anacardier du Bassin arachidier et de la Casamance. Le rendement par arbre en Casamance variait entre 3,5 et 5,81 kg tandis que celui de Fatick 3,2 kg/arbre. Les productions par arbre les plus élevées sont enregistrées à Ziguinchor suivie de Kolda, Sédhiou et Fatick. Cette variation de la production pourrait être due à la variation du poids des noix et à la différence de zone de production. Les résultats sur la capacité germinative des différentes provenances ont montré que les noix de Fatick qui étaient plus lourds avaient le plus faible taux

de germination. Le plus grand taux de germination avait été trouvé à Ziguinchor suivi de Kolda et de Sédhiou.

2. Relation entre les paramètres morpho-métriques des noix et la qualité des noix

Le défi actuel de la filière anacarde est essentiellement lié à l'amélioration de sa productivité et de la qualité des noix produites. L'étude des paramètres morphologiques de différentes provenances de noix d'anacarde et de leur capacité germinative, a révélé une variation des différents paramètres étudiés en fonction de la provenance. Cette variation pourrait être due aux caractéristiques climatiques, environnementales et aux techniques culturales différentes des deux zones agro écologique, mais aussi à la variabilité génétique des noix cultivées dans ces zones. Ces résultats corroborent ceux de Malou (2014) ; Diédhiou (2017), qui affirment que les noix de *Anacardium occidentale* varient suivant les variétés (morphotypes). Les noix en provenance de Fatick ont présentés les meilleures caractéristiques morpho-métriques comparé aux noix en provenance de la zone sud du Sénégal (Ziguinchor, Sédhiou et Kolda). Cela pourrait être dû à la qualité des noix cultivées de ses zones. Le rapport de USAID (2006), sur la chaine de valeurs anacarde au Sénégal analyse et cadre stratégique d'initiatives pour la croissance de la filière montre que la région de Fatick offre la meilleure qualité de noix. Elle est suivie de celle de Ziguinchor, Sédhiou et de Kolda. Cela s'expliquerait par les premières introduction de variétés améliorées par le PASA au niveau de Fatick (1980 à 1990) ainsi que des techniques de culture, de récolte et de poste-récolte (USAID, 2006). Les travaux de Ndiaye et *al.* (2020), sur l'évaluation de la qualité des noix brutes d'anacardier en Casamance ont montré quant à eux que les noix produites dans la région de Ziguinchor ont la meilleure qualité avec un KOR variant entre 50-51 lbs. Elles sont suivies par celles de la région Sédhiou avec un KOR variant entre 49 à 50 lbs. La plus faible qualité des noix a été enregistrée à Kolda où le KOR varie entre 46-49 lbs. Les mêmes tendance ont été trouvé par Dieng (2020) sur la comparaison de la qualité de la noix de cajou dans les principales régions de production au Sénégal. Les résultats de ces travaux ont montré que la région de Ziguinchor a la meilleure qualité de noix avec un KOR (45 ± 6 lbs) tandis que le plus faible KOR a été noté dans la région de Fatick (38 ± 9). Les KOR des régions de Kolda (45 ± 8 lbs) et Sédhiou (45 ± 8 lbs) étaient similaires. Cette variation pourrait être liée à la qualité du sol, le matériel végétal et le niveau de précipitations très élevée dans la zone sud du Sénégal. Ainsi, d'après l'analyse des résultats, les paramètres morpho-métriques sont corrélés négativement à la qualité des noix (KOR). Contrairement à la capacité germinative des semences qui est corrélée à la qualité des noix (KOR) produits.

3. Relation entre les paramètres physicochimiques des sols et l'abondance des CMAs

De nombreux sols des zones tropicales sont fragilisés et assujettis à de profondes perturbations chimiques et biologiques aboutissant à une diminution des rendements des cultures et en conséquence de nombreuses difficultés pour satisfaire les besoins alimentaires des populations locales. De nombreuses études ont montrés l'importance de l'association des cultures avec des champignons mycorrhiziens à arbuscules pour l'amélioration de la productivité et de la nutrition hydrominérale (Diallo et *al.*, 2016 ; Thioye, 2017). L'efficacité de l'association mycorrhizienne est largement sous influence des caractéristiques du sol, des différentes sources de phosphore et dépend également du génotype de la plante et de la spécificité des souches de CMA utilisées (Mofini, 2021). Les résultats de l'analyse physicochimique des sols ont montré une variabilité des paramètres physico-chimiques des sols entre les deux zones agro-écologiques. Le test de corrélation a montré un lien positif entre l'abondance des spores et le phosphore (P), le carbone C, l'azote (N) et la matière organique (MO) disponibles dans le sol. Cet état de fait pourrait être due au fait que ces éléments minéraux influencent positivement l'abondance des spores. Ce résultat corrobore ceux de Tchassanti et *al.* (2023) qui avaient trouvé une corrélation positive entre les éléments chimiques du sol (pH, C, N, K et CE) et l'abondance des spores de CMAs. Le rôle majeur des CMAs étant la mobilisation d'éléments nutritifs, notamment le phosphore pour la plante (Leye et *al.*, 2015), on pouvait s'attendre à une influence négative de la teneur du sol en phosphore sur l'abondance des spores (Datta et Kulkarni, 2012). Cela ne fut pas le cas dans la présente étude. Comme l'atteste les travaux de (Touré et *al.*, 2021). Cette corrélation négative a probablement été masquée par l'influence positive des teneurs du sol en carbone et en azote, ainsi que celle des particules fines (argiles et limons fins). Cette tendance a également été rapportée par (Bossou et *al.*, 2019) au Bénin avec la culture du maïs.

4. Fiche technique de production de plant amélioré par une association d'inoculum et de phosphate

Pour une production de plant de qualité par les producteurs un certain nombre de règles devra être respecté. L'inoculum qui sera utilisé peut-être multiplié en quantité par les producteurs en respectant les conditions de production. Les champignons mycorrhiziens à arbuscules étant des symbiotes obligatoires c'est à dire dépendants de la présence d'une plante hôte pour se développer et se multiplier. Le producteur est alors tenu de cultiver le champignon en association avec une plante hôte comme le maïs. La production se fera en serre afin de limiter toute contamination. Mais dans l'objectif d'obtenir suffisamment d'inoculum pour une

utilisation en pépinière forestier ou au champ, on peut utiliser des bacs en plastique et placé dans un milieu semi contrôlé. Toutefois, cette technique ne peut pas contourner tous les problèmes des organismes pathogènes mais les réduira à un niveau raisonnable.

Les champignons à multiplier seront déposés à une profondeur de 5cm du sol. Puis on déposera deux à trois graines de maïs là-dessus et on les recouvre d'une fine couche de sol. L'irrigation se fera tous les jours jusqu'à germination des graines. Après germination, l'arrosage se fera tous les deux jours. Après six mois de culture l'inoculum pourra être récolté. Il nécessitera avant l'utilisation de l'inoculum qu'un laboratoire certifié atteste la qualité de l'inoculum.

Après la production d'inoculum on pourra mettre en place la pépinière en respectant les processus suivants :

- Les fruits d'anacardier tombés doivent être récoltés et non les fruits qui sont sur l'arbre ;
- On séparera la noix de la pomme ;
- Après obtention des noix, un test de flottaison doit être fait pour sélectionner les noix aptes à la germination et pour améliorer leur capacité germinative ;
- Préparation du substrat de culture, en mélange du sol sablonneux avec du phosphate naturel (1,062g de phosphate de 32% dans 1kg de sol sec) ;
- Après rempotage des gaines, l'inoculation se fera en même temps que le semis ;
- Les noix doivent être semées avec l'attache pédoncules vers le haut en raison d'une noix par gaine ;
- Les noix semées devront être arrosées journalière-ment jusqu'à la capacité au champ et cela jusqu'à la germination des noix ;
- La fréquence d'arrosage sera réduite à une fois tous les deux jours après germination,

Après une durée de 3 mois en pépinière les plants d'anacardiers seront prêts être transplantés en milieu réel.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Cette présente étude avait comme objectif de contribuer à l'amélioration de la productivité de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) au Sénégal par l'utilisation des champignons mycorhiziens à arbuscules. Vu l'importance de la production de l'anacardier au Sénégal et son impact dans la vie socioéconomique des populations, les chercheurs se doivent d'apporter des solutions pour une meilleure productivité des plantations d'anacardier. Car les plantations d'anacardier au Sénégal sont confrontées à de faible rendement. C'est dans ce contexte que cette étude a été mise en place.

Dans la première phase de l'étude, le nombre le plus probable de propagules, la densité et la diversité morphologique des champignons mycorhiziens des différentes zones de production ont été étudiés. Il ressort des résultats la présence de champignons mycorhiziens à arbuscules dans les différents sites d'études. Six (6) morphotypes de CMAs appartenant aux genres *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* et *Racocetra* ont été trouvés dans tous les sites d'études avec une dominance des genres *Glomus* et *Acaulospora*.

Dans la deuxième phase, une évaluation de l'effet de l'inoculation avec des champignons mycorhiziens à arbuscules sur la croissance des plants d'anacardier en milieu semi contrôlé a été effectuée. Les résultats obtenus sur l'ensemble des paramètres étudiés ont révélé que les champignons mycorhiziens à arbuscules n'ont pas d'effet significatif sur les paramètres de croissance quel que soit la provenance. Les taux de mycorhization et la dépendance mycorhizienne de l'espèce sont aussi faibles pour les quatre provenances étudiées. La meilleure dépendance mycorhizienne a été obtenue avec la provenance Sédhiou inoculée avec le mélange d'inoculum. Les autres provenances sont plus dépendantes à l'inoculum *G. verruculosum*.

Dans la troisième phase, une étude comparative des paramètres morphologiques et de la capacité germinative des noix de cajou issus des quatre zones de production du pays a été mise en place. Les résultats obtenus montrent, une corrélation négative entre les différents paramètres morphologiques étudiés et la germination. Les noix en provenance de Fatick présentent les meilleurs caractères morpho métriques, mais ont les faibles capacités germinatives. Contrairement aux noix de Fatick, les noix en provenance de Kolda qui avaient enregistré les plus faibles valeurs en termes d'épaisseur et de poids et ceux de Ziguinchor qui avaient enregistré les plus faibles valeurs en termes de longueur et de largeur des noix ont présenté les meilleurs taux de germination. Le taux de germination est plus important à Ziguinchor 64,62% et plus faible à Fatick (23,08%).

Dans la quatrième phase : l'effet combinés de l'inoculation avec des CMAs et de la fertilisation avec du phosphate naturel sur la croissance de plants d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.)

en milieu semi contrôlé a été étudié. L'efficacité de l'inoculation des jeunes plants d'anacardier pourrait être améliorée par son association avec le phosphate naturel.

Le diamètre des plants a vu être amélioré dès le deuxième mois de culture. La biomasse racinaire fraîche des plants a été améliorée par le phosphate naturel. Le traitement (IN + 1/2PN) a été le meilleur traitement pour les provenances de Sédhiou, Kolda et Fatick.

Les taux de mycorhization sont faibles pour toutes les provenances étudiées même avec l'ajout du phosphate naturel. Mais l'association a été bénéfique pour les plants issus de la provenance Fatick. Pour les autres provenances l'inoculation seule a donné les meilleurs taux de mycorhization.

Au terme de cette étude, on peut dire que l'anacardier est une espèce qui forme naturellement la mycorhization avec les champignons mycorhiziens à arbuscules. Mais son développement ne dépend pas de cette association. Ce qui se justifie par la faible dépendance mycorhizienne de l'espèce et qui se traduit par un faible taux mycorhization. L'inoculation de l'espèce avec des CMAs sélectionnés n'influe pas trop sur le développement de la culture quel que soit la provenance. Pour une meilleure utilisation des CMAs comme biofertilisant, son association avec le phosphate naturel ou tout autre engrais qui libèrent très lentement les nutriments, comme les engrais de ferme (fumier, compost, résidus de culture, bois raméaux fragmentés) pourrait avoir un impact positif sur le développement de l'anacardier de surcroît sur le rendement en noix. L'ajout du phosphate naturel lors de la mise en place de pépinière pourrait être une solution pour améliorer la robustesse des plants d'anacardier en pépinière de surcroît la productivité, mais tout en respectant les itinéraires techniques de la culture de l'espèce. Le traitement (IN + 1/2PN) pourrait être adopté par les producteurs pour une production de plants de qualité en pépinière.

En partant de ces résultats, il serait important de :

- Évaluer le comportement des plants produits en milieu réel et d'évaluer la production ;
- Identifier jusqu'au niveau espèces les CMAs associées à la rhizosphère de l'anacardier ;
- Tester d'autres provenances de phosphate naturel sur le comportement des jeunes plants d'anacardier ;
- Évaluer l'effet de la combinaison du fumier, du compost, des résidus de culture, du bois raméaux fragmentés et des CMAs sur le développement des jeunes plants d'anacardier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abbas, J.D., Hetrick, B.A.D., Jurgenson, J.E., 1996.** Isolate Specific Detection of Mycorrhizal Fungi Using Genome Specific Primer Pairs. *Mycologia* 88 (6), 939–946. <https://doi.org/10.2307/3761056> (consulté le 23/11/2023)
2. **Abbott, L., Lumley, S., 2014.** Assessing Economic Benefits of Arbuscular Mycorrhizal Fungi as a Potential Indicator of Soil Health, in: *Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 17–31.
3. **ABIOGeT, 2017.** *Anacardium occidentale*. Action Pour Biodiversité Gest. Territ. 1p.
4. **Adeigbe, O.O., Olasupo, F.O., Adewale, B.D., Muyiwa, A.A., 2015.** A review on cashew research and production in Nigeria in the last four decades. *Sci. Res. Essays* 10 (5), 196–209. <https://doi.org/10.5897/SRE2014.5953> (consulté le 06/07/2022)
5. **Adejumo, T., 2010.** Effect of NPK fertilization on yield and inflorescence blight of cashew (*Anacardium occidentale*). *J. Agric. Biotechnol. Sustain. Dev.* 2 (5), 66–70.
6. **Adelman, M.J., Morton, J.B., 1986.** Infectivity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi: Influence of host-soil diluent combinations on MPN estimates and percentage colonization. *Soil Biol. Biochem.* 18 (1), 77–83. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(86\)90106-9](https://doi.org/10.1016/0038-0717(86)90106-9) (consulté le 24/05/2023)
7. **Adesanya, K.A., Agboola-Adedoja, M.O., Adelusi, A.A., Ogunwolu, Q.A., Ugwu, C.A., Alli, M.A., Akinpelu, A.O., 2021.** Opportunities in Nigerian cashew nut value chain. *World J. Adv. Res. Rev.* 9 (1), 168–174. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.9.1.0008> (consulté le 01/12/2023)
8. **Adjanohoun, A., Bbaba-moussa, L.S., Dagbenonbakin, G., Saidou, A., Toukourou, F., 2017.** Utilisation des microorganismes du sol pour accroître la productivité agricole. Manuel de l'apprenant. 78p.
9. **Adou, M., Tetchi, F.A., Gbané, M., Kouassi, K.N., Amani, N.G., 2012.** Physico-chemical characterization of cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.) from Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *Innov. Romanian Food Biotechnol.* 11, 9.
10. **Ahmed, A., Abdelmalik, A., Alsharani, T., Al-Qarawi, B.A.-Q., Aref, I., 2020.** Response of growth and drought tolerance of *Acacia seyal* Del. seedlings to arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil Environ.* 66 (6), 264–271.
11. **Ajileye, O.O., Obuotor, E.M., Akinkunmi, E.O., Aderogba, M.A., 2015.** Isolation and characterization of antioxidant and antimicrobial compounds from *Anacardium occidentale* L. (*Anacardiaceae*) leaf extract. *J. King Saud Univ. - Sci.* 27 (3), 244–252. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2014.12.004> (consulté le 02/12/2023)

12. **Akossou, A., Salifou, A., Tchiwanou, L., Saliou, S., Azoua, M., 2017.** Area and Dry Mass Estimation of Cashew (*Anacardium occidentale*) Leaves: Effect of Tree Position within a Plantation around Parakou, Benin. *J. Exp. Agric. Int.* 15 (1), 1–12. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2017/29798> (consulté le 26/05/2023)
13. **Alban, R., Guerrero, R., Toro, M., 2013.** Interactions between a root knot nematode (*Meloidogyne exigua*) and arbuscular mycorrhizae in coffee plant development (*Coffea arabica*). *Am. J. Plant Sci.* 4, 5.
14. **Alexander, M., 1965.** Most-Probable-Number Method for Microbial Populations, in: *Methods of Soil Analysis*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 1467–1472. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c49> (consulté le 28/10/2021)
15. **Aliyu, O.M., Awopetu, J.A., 2011.** Variability Study on Nut Size and Number Trade-Off Identify a Threshold Level for Optimum Yield in Cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Int. J. Fruit Sci.* 11 (4), 342–363. <https://doi.org/10.1080/15538362.2011.630297> (consulté le 26/05/2023)
16. **Aliyu, O.M., Awopetu, J.A., 2007.** Assessment of genetic diversity in three populations of cashew (*Anacardium occidentale* L.) using protein-isoenzyme-electrophoretic analysis. *Genet. Resour. Crop Evol.* 54 (7), 1489–1497. <https://doi.org/10.1007/s10722-006-9138-9> (consulté le 27/07/2023)
17. **Ambouta, K.J.-M., Ibrahim, D., Bara, S., 2009.** Statut mycorhizien de dix espèces ligneuses prélevées sur des dunes menaçant d'ensablement des cuvettes dans le département de Gouré (Niger). *Geo-Eco-Trop* 33, 107–114.
18. **Andrade, T. de J.A. dos S., Araújo, B.Q., Citó, A.M. das G.L., da Silva, J., Saffi, J., Richter, M.F., Ferraz, A. de B.F., 2011.** Antioxidant properties and chemical composition of technical Cashew Nut Shell Liquid (tCNSL). *Food Chem.* 126 (3), 1044–1048. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.122> (consulté le 11/01/2024)
19. **ANSD, 2018.** Bulletin mensuel des statistiques économiques de Décembre 2018. Ministère Léconomie Financ. Plan. 115p.
20. **ANSD, 2013.** Rapport définitif RGPHAE-2013 (Recensement Général). Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie. 418p
21. **Ansori, A., Gholami, A., 2015.** Improved Nutrient Uptake and Growth of Maize in Response to Inoculation with Thiobacillus and Mycorrhiza on an Alkaline Soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 46 (17), 2111–2126. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1048251> (consulté le 23/08/2022)

22. **Aref, I., Ali, H., Atta, E., Alshahrani, T., Ahmed, A., 2011.** Effects of seed pretreatment and seed source on germination of five *Acacia spp.* *Afr. J. Biotechnol.* 10 (71), 15901–15910. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1763> (consulté le 28/05/2024)
23. **ASEPEX, IRD, 2016.** La noix de cajou ou anacarde. Sénégal Export. <https://www.senegal-export.com/produits-et-services/fruits-et-legumes/l-anacarde.html> (consulté le 20/09/2023)
24. **Asogwa, E.U., Hammed, L.A., Ndubuaku, T.C.N., 2008.** Integrated production and protection practices of cashew (*Anacardium occidentale*) in Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.* 7 (25), 4868–4873.
25. **Assih, A., Nenonene, A.Y., 2022.** Etat de fertilité des sols des vergers d’anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) et ses effets sur la productivité en noix d’anacarde au Togo: Soil fertility status of cashew (*Anacardium occidentale* L.) orchards and its effects on cashew nut productivity in Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 16 (4), 1448–1458. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v16i4.8> (consulté le 13/01/2023)
26. **Assunção, Raquel.B., Mercadante, A., 2003.** Carotenoids and ascorbic acid composition from commercial products of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.). *J. Food Compos. Anal.* 16, 647–657. [https://doi.org/10.1016/S0889-1575\(03\)00098-X](https://doi.org/10.1016/S0889-1575(03)00098-X) (consulté le 17/11/2021)
27. **Aubert, G., 1978.** Méthodes d’analyses du sol, 2nd (ed). C.N.D.P. Marseille. 178p.
28. **Augé, R.M., Toler, H.D., Saxton, A.M., 2015.** Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza* 25 (1), 13–24. <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0585-4> (consulté le 21/05/2024)
29. **Augé, R.M., Toler, H.D., Saxton, A.M., 2014.** Arbuscular mycorrhizal symbiosis and osmotic adjustment in response to NaCl stress: a meta-analysis. *Front. Plant Sci.* 5, 14.
30. **Azam-Ali, S.H., Judge, E.C., 2001.** Small-scale cashew nut processing. FAO. 70p.
31. **Azcon-Aguilar, C., Barea, J.M., Gianinazzi, S., Gianinazzi-Pearson, V., 2009.** Mycorrhizas - Functional Processes and Ecological Impact, 1st (ed). Springer Berlin, Heidelberg. 239p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-87978-7> (consulté le 11/02/2024)
32. **Bâ, A., Duponnois, R., Danthu, P., Diallo, I., Guissou, T., Sanon, K., Sacko, O., Plenchette, C., 1998.** Utilisation des phosphates naturels par des jujubiers mycorrhizés. Enregistrement scientifique. Symposium. 8p.
33. **Bâ, A.M., Guissou, T., Duponnois, R., Plenchette, C., Sacko, O., Sidibé, D., Sylla, K., Windou, B., 2013.** Mycorrhization contrôlée et fertilisation phosphatée Applications à la domestication du jujubier, arbre fruitier forestier sahélien, in: Dia, A. (Ed.), La Grande Muraille

Verte : Capitalisation Des Recherches et Valorisation Des Savoirs Locaux, Synthèses. IRD Éditions, Marseille, pp. 251–262.

34. **Ba, L., Ning, J., Wang, D., Facelli, E., Facelli, J.M., Yang, Y., Zhang, L., 2012.** The relationship between the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and grazing in a meadow steppe. *Plant Soil* 352 (1), 143–156. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0985-6> (consulté le 23/08/2023)
35. **Babatunde, O.P., Adeigbe, O.O., Sobowale, O.I., Muyiwa, A.A., Balogun, S.T., 2023.** Cashew Production and Breeding in 5 West African Countries. *J. Sci. Res. Rep.* 29 (5), 28–39. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2023/v29i51745> (consulté 21/07/2023)
36. **Bada, B.S., Fagbola, O., 2014.** Effects of arbuscular mycorrhiza and composted market waste on the performance of Tiannug 1 variety of kenaf (*Hibiscus cannabinus* Linn.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8 (3), 1151–1164.
37. **Bago, B., Pfeffer, P.E., Abubaker, J., Jun, J., Allen, J.W., Brouillette, J., Douds, D.D., Lammers, P.J., Shachar-Hill, Y., 2003.** Carbon export from arbuscular mycorrhizal roots involves the translocation of carbohydrate as well as lipid. *Plant Physiol.* 131 (3), 1496–1507. <https://doi.org/10.1104/pp.102.007765> (consulté le 11/02/2022)
38. **Balogoun, I., Ahoton, L.E., Saïdou, A., Bello, D.O., Ezin, V., Amadji, G.L., Ahohuendo, B.C., Babatounde, S., Chougourou, D.C., Ahanchede, A., 2016.** Effect of climatic factors on cashew (*Anacardium occidentale* L.) productivity in Benin (West Africa). *J. Earth Sci. Clim. Change* 7 (1), 10.
39. **Balogoun, I., Saïdou, A., Ahoton, E.L., Amadji, L.G., Ahohuendo, C.B., Adebo, I.B., Babatounde, S., Chougourou, D., Adoukonou-Sagbadja, H., 2014.** Caractérisation des systèmes de production à base d’anacardier dans les zones de culture au Bénin. *Agron. Afr.* 26 (1), 14.
40. **Balogoun, I., Saïdou, A., Dossou, T.J.G., Ahoton, L.E., Bello, O.D., Amadji, G.L., Ahohuendo, B.C., Babatoundé, S., Chougourou, D., Ahanchede, A., 2017.** 7. Effet des champignons mycorrhiziens arbusculaires sur la croissance de l’anacardier (*Anacardium occidentale* L.) au Bénin. *Intensif. Agro-Écologique Prod. Transform. Cajou En Afr. Problématique–Acquis Sci. Technol.* 66.
41. **Banito, A., Bamazi, B., Kpemoua, E.K., Sikirou, R., Tchalla, P., Paret, M.L., 2021.** Criblage de variétés de tomate pour de la résistance au flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum* au Togo. *J. Appl. Biosci.* 166, 17212–17222.

42. **Barrow, C.J., 2012.** Biochar: Potential for countering land degradation and for improving agriculture. *Appl. Geogr.* 34, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.09.008> (consulté le 04/01/2023)
43. **Bataglion, G.A., da Silva, F.M.A., Eberlin, M.N., Koolen, H.H.F., 2015.** Determination of the phenolic composition from Brazilian tropical fruits by UHPLC-MS/MS. *Food Chem.* 180, 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.059> (consulté 17/11/2021)
44. **Bellon-Maurel, V., Burger-Leenhardt, D., Jeuffroy, M.-H., Lauri, P.-É., Nesme, T., Malézieux, É., Faye, É., 2019.** Estimation spatialisée des rendements d’une culture pérenne en Afrique de l’Ouest : le cas du manguier au Sénégal. Thèse de Doctorat. Université de Montpellier SupAgro. 259p.
45. **Beltrano, J., Ruscitti, M., Arango, M.C., Ronco, M., 2013.** Effects of arbuscular mycorrhiza inoculation on plant growth, biological and physiological parameters and mineral nutrition in pepper grown under different salinity and P levels. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 13 (1), 123–141. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000012> (consulté le 18/08/2022)
46. **Bencherif, K., Laruelle, F., Tisserant, B., Dalpé, Y., Lounés-Hadj Saharaoui, A., 2023.** Engineering Approach for Production of Arbuscular Mycorrhizal Inoculum Adapted to Saline *Soil Management. Stresses* 3 (2), 404–423.
47. **Bender, S.F., Wagg, C., van der Heijden, M.G.A., 2016.** An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. *Trends Ecol. Evol.* 31 (6), 440–452. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016> (consulté le 12/12/2023)
48. **Bezerra, M.A., Lacerda, C.F. de, Gomes Filho, E., Abreu, C.E.B. de, Prisco, J.T., 2007.** Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. *Braz. J. Plant Physiol.* 19 (4), 449–461. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400012> (consulté le 18/08/2022)
49. **Bi, Y., Xiao, L., Liu, R., 2019.** Response of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus solubilizing bacteria to remediation abandoned solid waste of coal mine. *Int. J. Coal Sci. Technol.* 6 (4), 603–610. <https://doi.org/10.1007/s40789-019-00270-7> (consulté le 07/12/2023)
50. **Błaszowski, J., Adamska, I., Czerniawska, B., 2002.** Arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*) of the Vistula Bar. *Acta Mycol.* 37, 39–62. <https://doi.org/10.5586/am.2002.005> (consulté le 24/02/2023)
51. **Błaszowski, J., Chwat, G., Górska, A., Ryszka, P., Kovács, G.M., 2015.** Two new genera, *Dominikia* and *Kamienskia*, and *D. disticha* sp. nov. in *Glomeromycota*. *Nova Hedwig.* 100, 225–238.

52. **Boostani, H.R., Chorom, M., Moezzi, A.A., Enayatizamir, N., 2014.** Mechanisms of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and mycorrhizae fungi to enhancement of plant growth under salinity stress: *A review. Sci. J. Biol. Sci.* 3 (11), 98–107.
53. **Borges, J., 2021.** Cashew tree (*Anacardium occidentale*): Possible applications in dermatology. *Clin. Dermatol. The Skin During COVID-19 Pandemic Part II* 39 (3), 493–495. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2020.11.014> (consulté le 25/11/2023)
54. **Bossou, L.-D.R., Houngnandan, H.B., Adandonon, A., Zoundji, C., Houngnandan, P., 2019.** Diversité des champignons mycorrhiziens arbusculaires associés à la culture du maïs (*Zea mays* L.) au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13 (2), 597–609. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.2> (consulté le 12/10/2021)
55. **Bremner, J.M., Mulvaney, C.S., 1982.** Nitrogen-Total. In: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. 1119-1123p
56. **Breullin, F., Schramm, J., Hajirezaei, M., Ahkami, A., Favre, P., Druege, U., Hause, B., Bucher, M., Kretschmar, T., Bossolini, E., Kuhlemeier, C., Martinoia, E., Franken, P., Scholz, U., Reinhardt, D., 2010.** Phosphate systemically inhibits development of arbuscular mycorrhiza in *Petunia hybrida* and represses genes involved in mycorrhizal functioning. *Plant J. Cell Mol. Biol.* 64 (6), 1002–1017. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2010.04385.x> (consulté le 09/04/2024)
57. **Brito, I., Goss, M.J., de Carvalho, M., Chatagnier, O., van Tuinen, D., 2012.** Impact of tillage system on arbuscular mycorrhiza fungal communities in the soil under Mediterranean conditions. *Soil Tillage Res.* 121, 63–67. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.01.012> (consulté le 28/02/2023)
58. **Calvo Velez, P., Nelson, L., Kloepper, J., 2014.** Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* 383, 3–31. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8> (consulté le 16/01/2024)
59. **Camara, B., 2018.** Caractérisation agro-écologique et socioéconomique des parcs à *Elaeis guineensis* Jacq. Et *Faidherbia albida* (Del.) Chev. et leurs influences sur la productivité du riz pluvial en Basse Casamance (Sénégal). Thèse de doctorat: Université Assane Seck de Ziguinchor, (Sénégal). 152p.
60. **Carr, M.K.V., 2014.** The water relations and irrigation requirements of cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Exp. Agric.* 50 (1), 24–39. <https://doi.org/10.1017/S0014479713000392> (consulté le 07/12/2023)

61. **Catarino, L., Menezes, Y., Sardinha, R., 2015.** Cashew cultivation in Guinea-Bissau – risks and challenges of the success of a cash crop. *Sci. Agric.* 72 (5), 459–467. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0369> (consulté le 05/11/2021)
62. **Chabi Sika, K., Adoukonou-Sagbadja, H., L, A., Aliou, S., Ahanchede, A., T, K., Gachomo, E., Baba-Moussa, L., Kotchoni, S., 2015.** Genetic Characterization of Cashew (*Anacardium occidentale* L) Cultivars from Benin. *J. Hortic.* 2 (3), 7. <https://doi.org/10.4172/2376-0354.1000153> (consluté le 21/07/2023)
63. **Chandrasekaran, M., Boughattas, S., Hu, S., Oh, S.-H., Sa, T., 2014.** A meta-analysis of arbuscular mycorrhizal effects on plants grown under salt stress. *Mycorrhiza* 24, 15. <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0582-7> (consulté le 06/12/2023)
64. **Cibichakravarthy, B., Kumutha, K., Balachandar, D., 2015.** Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in phosphorus-deficient Alfisols of a dry North-western agro-ecosystem of Tamil Nadu, India. *Ann. Microbiol.* 65 (1), 143–153. <https://doi.org/10.1007/s13213-014-0845-8> (consulté le 23/05/2023)
65. **Cius, A., 2017.** Appréciation du potentiel mycorrhizien des sols d’arboriculture fruitière et de cultures sarclées d’Haïti par l’isolement de souches indigènes de champignons mycorrhiziens arbusculaires. (Mémoire de fin d’étude). Université d’Etat d’Haïti. 63p.
66. **Coly, M.L., 2017.** Etude des caractéristiques morphologiques et de la germination des noix de *Anacardium occidentale* L. de la région de Ziguinchor (Mémoire de Master : Foresterie et Environnement pour une Gestion Durable des Ressources Naturelles). Ecole Nationale Supérieur d’Agriculture (Sénégal), Thies. 57p.
67. **Comby, M., Mustafa, G., Magnin-Robert, M., Randoux, B., Fontaine, J., Reignault, Ph., Lounès-Hadj Sahraoui, A., 2017.** Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Potential Bioprotectants Against Aerial Phytopathogens and Pests, in: Wu, Q.-S. (Ed.), *Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants*. Springer, Singapore, pp. 195–223. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4115-0_9 (consulté le 08/12/2023)
68. **Compaore, E., Frossard, E., J.C, F., Sinaj, S., Morel, J.-L., 2003.** Influence of Land-Use Management on Isotopically Exchangeable Phosphate in Soils from Burkina Faso. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34, 201–223.
69. **Coulibaly, N., Siaka, K., Yapi, Y., Sally, T., 2020.** Technical Efficiency of Farms, and Fight Against Poverty: Case of the Cashew Sector in Côte d’Ivoire. *J. Agric. Sci.* 12 (2), 106–123. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n2p106> (consluté le 27/05/2023)
70. **CRAAQ, 2013.** Guide de référence en fertilisation, 2e (ed). CRAAQ. 473p.

71. **Cruz Reina, L.J., López, G.-D., Durán-Aranguren, D.D., Quiroga, I., Carazzone, C., Sierra, R., 2023.** Compressed fluids and Soxhlet extraction for the valorization of compounds from Colombian cashew (*Anacardium occidentale*) nut shells aimed at a cosmetic application. *J. Supercrit. Fluids* 192, 105808. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2022.105808> (consulté le 29/11/2023)
72. **Cunha, V., Santos, M.M., Moradas-Ferreira, P., Castro, L.F.C., Ferreira, M., 2017.** Simvastatin modulates gene expression of key receptors in zebrafish embryos. *J. Toxicol. Environ. Health A*. 80 (9), 465–476. <https://doi.org/10.1080/15287394.2017.1335258> (consulté le 22/08/2022)
73. **da Silva Campos, M.A., da Silva, F.S.B., Yano-Melo, A.M., de Melo, N.F., Maia, L.C., 2017.** Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi during the Acclimatization of *Alpinia purpurata* to Induce Tolerance to *Meloidogyne arenaria*. *Plant Pathol. J.* 33 (3), 329–336. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.04.2016.0094> (consulté le 08/12/2023)
74. **Dadzie, A., 2020.** Assessment of Juvenile Growth and Yield Relationship Among Dwarf Cashew Types in Ghana. *Journal of Agricultural Science*. 12 (10), 16. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n10p116> (consulté le 21/07/2023)
75. **Dadzie, A.M., Adu-Gyamfi, P.K.K., Opoku, S.Y., Yeboah, J., Akpertey, A., Opoku-Ameyaw, K., Assuah, M., Gyedu-Akoto, E., Danquah, W.B., 2014.** Evaluation of Potential Cashew Clones for Utilization in Ghana. *Adv. Biol. Chem.* 4 (4), 232–239. <https://doi.org/10.4236/abc.2014.44028> (consulté le 05/11/2021)
76. **Dandjinou, B., 2016.** Global Competitiveness : the Real Issues and How to Adress It. Presented at the Festival et Expo mondiaux 2016 sur le cajou organisés par l’ACA. , ACA, Guinea-Bissau, p. 25.
77. **Dare, M.O., Abaidoo, R., Fagbola, O., Asiedu, R., 2013.** Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in soils of yam (*Dioscorea spp.*) cropping systems in four agroecologies of Nigeria. *Arch. Agron. Soil Sci.* 59 (4), 521–531.
78. **Das, I., Arora, A., 2017.** Post-harvest processing technology for cashew apple –. *J. Food Eng.* 194, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.09.011> (consulté le 29/11/2023)
79. **Datta, P., Kulkarni, M., 2012.** Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in sugarcane rhizosphere in relation with soil properties. *Not. Sci. Biol.* 4 (1), 66–74. <https://doi.org/10.15835/nsb416567> (consulté le 30/11/2021)
80. **Davet, P., 1996.** Vie microbienne du sol et production végétale. Institut national de la recherche agronomique, 1e (ed), Paris. 383p.

81. **David, D., 1960.** La détermination du sodium, du potassium, du calcium et du magnésium échangeables dans les sols par spectrophotométrie d'absorption atomique - Analyste (RSC Publishing). *Div. Plant Ind.* 5p.
82. **de Bon, H., Huat, J., Parrot, L., Sinzogan, A., Martin, T., Malézieux, E., Vayssières, J.-F., 2014.** Pesticide risks from fruit and vegetable pest management by small farmers in sub-Saharan Africa. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34 (4), 723–736. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0216-7> (consulté le 07/03/2023)
83. **Dedehou, E., Dossou, J., Anihouvi, V., Soumanou*, M.M., 2016.** A review of cashew (*Anacardium occidentale* L.) apple: Effects of processing techniques, properties and quality of juice. *Afr. J. Biotechnol.* 15 (47), 2637–2648. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.14974> (consulté le 18/11/2021)
84. **Dedehou, E., Dossou, J., Soumanou, M., 2015.** Etude diagnostique des technologies de transformation de la pomme de cajou en jus au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9 (1), 371–387. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i1.32> (consulté le 10/11/2021)
85. **Dedzoe, C.D., Senayah, J.K., Asiamah, R.D., 2001.** Suitable agro-ecologies for cashew (*Anacardium occidentale* L.) production in Ghana. *West Afr. J. Appl. Ecol.* 2 (1), 16.
86. **Detienne, P., Jacquet, P., 1983.** Atlas d'identification des bois de l'Amazonie et des régions voisines. Centre technique forestier tropical, Nogent-sur-Marne, 1^e (ed) France. 640p.
87. **Diallo, B., Samba, S.A.N., Sane, D., 2016.** Effets de champignons MA sur la croissance et le développement de plants de ricin élevés sous contrainte saline en conditions semicontrôlées. *Rev. Energ. Renouvelables* 19 (1), 59–68.
88. **Diatta, A., Charahabil, M.M., Ndiaye, L., 2023.** Effet de l'apiculture sur les Plantations d'anacardiens (*Anacardium Occidentale* L.) dans les Regions de Sedhiou et Kolda au Sud du Senegal. *Eur. Sci. J. ESJ* 19 (24), 245–268. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n24p222> (consulté le 24/02/2024)
89. **Dickson, S., 2004.** The Arum–Paris continuum of mycorrhizal symbioses. *New Phytol.* 163 (1), 187–200. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01095.x> (consulté le 10/11/2021)
90. **Diédhiou, 2017.** Morphologie et germination comparées des semences de quatre (4) morphotypes de *Anacardium occidentale* L. au Sénégal. Mémoire de Fin de cycle, Université Alioune Diop de Bambey. 48p.
91. **Dieng, F., 2020.** Analyse des déterminants techniques et de la qualité de la production de l'anacarde dans les grandes zones productrices au Sénégal (Thèse de Doctorat). Université Assane Seck de Ziguinchor. 157p.

92. **Diomande, V.P.A., Koulibaly, A., Traore, K., 2021.** Stratégie paysanne de préservation de la flore ligneuse associée dans les plantations de cacaoyer de la zone cacaoyère de Djékro (Centre-Ouest, Cote D’ivoire). *Agron. Afr. Sp.* 33 (1), 29–39.
93. **Diouf, A.A., Faye, G., Minet, J., Djaby, B., Ndione, J.A., Tychon, B., 2015.** Zonage phénoclimatique et caractérisation des parcours naturels du sénégal avec les données de télédétection satellitaire. XXVIIIe Colloq. L’Association Int. Climatol. Liège 6.
94. **Diulyale, K., André, S., Yaya, T., Kone, T., Nakpalo, S., Noémie, R., Kone, D., Mongomake, K., 2019.** Evaluation de la technique de surgreffage pour le renouvellement des vieillissants vergers d’anacardier [*Anacardium occidentale* (L.)] dans la région du Gontougo en Côte d’Ivoire. *Eur. Sci. J. ESJ* 15 (6), 304–329. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n6p304> (consulté le 08/04/2024)
95. **Dixon, M.W., 2018.** Chemical fertilizer in transformations in world agriculture and the state system, 1870 to interwar period. *J. Agrar. Change* 18 (4), 768–786. <https://doi.org/10.1111/joac.12259> (consulté le 16/01/2024)
96. **Djaha, J.-B., N’daadopo, A.A., Koffi, E.K., Ballo, C.K., Coulibaly, M., 2012.** Croissance et aptitude au greffage de deux génotypes d’anacardier (*Anacardium occidentale* L.) élites utilisés comme porte-greffe en Côte d’Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6 (4), 1453–1466. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i4.5> (consulté le 02/03/2024)
97. **Djaha, J.B.A., N’Guessan, A.K., Ballo, C.K., 2010.** Germination des semences de deux variétés d’anacardier (*Anacardium occidentale* L.) élites destinées à servir de porte – greffe en Côte d’Ivoire. *Journal of Applied Biosciences.* 32, 7.
98. **Dlagne, O., Ingleby, K., 2003.** Écologie des champignons mycorhiziens arbusculaires infectant *Acacia raddiana*, in: Grouzis, M., Le Floc’h, É. (Eds.), Un arbre au désert : *Acacia raddiana*, Synthèses. IRD Éditions, Marseille, pp. 205–228. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.5298> (consulté le 24/05/2021)
99. **Dominguez-Nuñez, J.A., Benito, B., Berrocal-Lobo, M., Albanesi, A., 2016.** Mycorrhizal Fungi: Role in the Solubilization of Potassium, in: Meena, V.S., Maurya, B.R., Verma, J.P., Meena, R.S. (Eds.), Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture. *Springer India, New Delhi*, pp. 77–98. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2_6 (consulté le 07/12/2023)
100. **Doucet, R., 2006.** Le climat et les sols agricoles, 1st (ed). Berger, Eastman, Québec. 443p.
101. **Driai, S., 2016.** Impact des polluants d’origine industrielle sur le développement des champignons mycorhiziens à arbuscules, sur leur diversité et sur la viabilité microbienne des

sols des agro-écosystèmes du Nord-est algérien. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar-Annaba. 170p.

102. **Duangjan, C., Rangsinth, P., Zhang, S., Wink, M.,** Tencomnao, T., 2021. *Anacardium Occidentale* L. Leaf Extracts Protect Against Glutamate/H₂O₂-Induced Oxidative Toxicity and Induce Neurite Outgrowth: The Involvement of SIRT1/Nrf2 Signaling Pathway and Teneurin 4 Transmembrane Protein. *Front. Pharmacol.* 12, 627–738. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.627738> (consulté le 25/11/2023)
103. **Dugué, P., Koné, F.R., Koné, G.,** 2003. Gestion des ressources naturelles et évolution des systèmes de production agricole des savanes de Côte d'Ivoire : conséquences pour l'élaboration des politiques agricoles. *Cah. Agric.* 12.
104. **Duhamel, M., Vandenkoornhuise, P.,** 2013. Sustainable agriculture: possible trajectories from mutualistic symbiosis and plant neodomestication. *Trends Plant Sci.* 18 (11), 597–600. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.08.010> (consulté le 16/01/2024)
105. **Edlinger, A., Garland, G., Hartman, K., Banerjee, S., Degrune, F., García-Palacios, P., Hallin, S., Valzano-Held, A., Herzog, C., Jansa, J., Kost, E., Maestre, F.T., Pescador, D.S., Philippot, L., Rillig, M.C., Romdhane, S., Saghäi, A., Spor, A., Frossard, E., van der Heijden, M.G.A.,** 2022. Agricultural management and pesticide use reduce the functioning of beneficial plant symbionts. *Nat. Ecol. Evol.* 6 (8), 1145–1154. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01799-8> (consulté le 23/08/2023)
106. **Evelin, H., Devi, T.S., Gupta, S., Kapoor, R.,** 2019. Mitigation of Salinity Stress in Plants by Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis: Current Understanding and New Challenges. *Front. Plant Sci.* 10, 21.
107. **Fabre, F., Burie, J., Ducrot, A., Lion, S., Richard, Q., Djidjou-Demasse, R.,** 2021. An epi-evolutionary model for predicting the adaptation of spore-producing pathogens to quantitative resistance in heterogeneous environments. *Evol. Appl.* 15 (1), 95–110. <https://doi.org/10.1111/eva.13328> (consulté le 23/08/2023)
108. **Faye, E., Touré, M.A., Diouf, Y.K.,** 2019. Effets du stress salin sur la germination des graines de *Jatropha curcas* L. *Vertigo - Rev. Électronique En Sci. Environ.* 2 (1), 15. <https://doi.org/10.4000/vertigo.25327> (consulté le 01/06/2023)
109. **Fisher, R.A., Yates, F.,** 1963. Statistical tables for biological, agricultural and medical research., 6th (ed). Edinburgh: Oliver and Boyd. 155p.
110. **Fortin, J.A., Plenchette, C., Piché, Y.,** 2015. Les mycorhizes: la nouvelle révolution verte. Éditions MultiMondes.

111. **Fortin, J.A., Plenchette, C., Piché, Y., 2008.** Les mycorhizes. La nouvelle révolution verte. MultiMonde Quac. (Eds.), Quebecs. 131 p.
112. **Fotso, B., Nandjui, J., Rosin, R., Voko, B., Amoa, J., Brou, Y., Niemenak, N., 2019.** Native arbuscular mycorrhizal fungi increased resistance of two plantain varieties (Fhia 21 and Orishele), under water deficit conditions in Cote d'Ivoire. *Microbiol. Nat.* 1, 16–28. <https://doi.org/10.26167/XXWD-J920> (consulté le 18/08/2022)
113. **Fu, L., Xu, B.-T., Xu, X.-R., Gan, R.-Y., Zhang, Y., Xia, E.-Q., Li, H.-B., 2011.** Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chem.* 129 (2), 345–350. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.079> (consulté le
114. **Fusco, R., Cordaro, M., Siracusa, R., Peritore, A.F., Gugliandolo, E., Genovese, T., D'Amico, R., Crupi, R., Smeriglio, A., Mandalari, G., Impellizzeri, D., Cuzzocrea, S., Di Paola, R., 2020.** Consumption of *Anacardium Occidentale* L. (Cashew Nuts) Inhibits Oxidative Stress through Modulation of the Nrf2/HO-1 and NF-kB Pathways. *Mol. Basel Switz.* 25 (19), 18. <https://doi.org/10.3390/molecules25194426> (consulté le 30/11/2023)
115. **Gaitán-Jiménez, S.-Y., Restrepo-Sánchez, L.-P., Parada-Alfonso, F., Narváez-Cuenca, C.-E., 2022.** Cashew (*Anacardium occidentale*) Nut-Shell Liquid as Antioxidant in Bulk Soybean Oil. *Molecules* 27 (24), 8. <https://doi.org/10.3390/molecules27248733> (consulté le 01/12/2023)
116. **Galbrun, C., Charles, M.N., 2010.** La mycorhize ou comment profiter du potentiel du sol. Réussir Vigne 166, 22–23.
117. **Garbaye, J., 2013.** La symbiose mycorhizienne - Une association entre les plantes et les champignons, 1ère. (ed). Quae 280p.
118. **Garcia, A.A.F., Benchimol, L.L., Barbosa, A.M.M., Geraldi, I.O., Souza Jr., C.L., Souza, A.P. de, 2004.** Comparison of RAPD, RFLP, AFLP and SSR markers for diversity studies in tropical maize inbred lines. *Genet. Mol. Biol.* 27 (4), 579–588. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572004000400019> (consulté le 23/11/2023)
119. **Garcia, K., Doidy, J., Zimmermann, S.D., Wipf, D., Courty, P.-E., 2016.** Take a Trip Through the Plant and Fungal Transportome of Mycorrhiza. *Trends Plant Sci.* 21 (11), 937–950. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.07.010> (consulté le 08/12/2023)
120. **Gardi, C., Jeffery, S., Saltelli, A., 2013.** An estimate of potential threats levels to soil biodiversity in EU. *Glob. Change Biol.* 19 (5), 1538–1548. <https://doi.org/10.1111/gcb.12159> (consulté le 08/03/2024)
121. **Gavériaux, J.-P., 2012.** Mycorhizes VAM et Geosiphon pyriformis (Kützing) Wettstein. *Bull Soc Mycol* 92, 17.

122. **Gbaguidi, I., 2020.** Commerce et chaînes de valeur dans les activités porteuses d'emplois (TRAVERA) cas de l'anacarde au Bénin, 1st (ed). Organisation internationale du Travail. 20p.
123. **Gbohaida, V., Euloge, A., Mossi, I., Sohounhloue, Dominique.K.C., 2015.** Morphological and physicochemical characterizations of cashew apples from Benin for their use as raw material in bioethanol production. *Int. J. Pharm. Sci.* (2), 7–11.
124. **Gerdemann, J.W., 1968.** Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza and Plant Growth. *Annu. Rev. Phytopathol.* 6, 397–418. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.06.090168.002145> (consulté le 24/05/2024)
125. **Gerdemann, J.W., Nicolson, T.H., 1963.** Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46 (2), 235–244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0) (consulté le 28/10/2021)
126. **Gherbawy, Y., Voigt, K., 2010.** Molecular Identification of Fungi. 2sd (Eds) Springer, Berlin, Heidelberg. 501p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-05042-8> (consulté le 23/11/2023)
127. **Ghosh, S.N., Bose, T.K., 1986.** Nutritional requirement of cashew (*Anacardium occidentale* L.) in laterite tract of West Bengal. *CABI* 18, 11–16.
128. **Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M.-N., van Tuinen, D., Redecker, D., Wipf, D., 2010.** Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20 (8), 519–530. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0333-3> (consulté le 16/11/2021)
129. **Gianinazzi, S., Vosátka, M., 2004.** Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meets business. *Can. J. Bot.* 82 (8), 1264–1271. <https://doi.org/10.1139/b04-072> (consulté le 23/05/2023)
130. **GIZ/ComCashew, 2019.** “Innovations et technologies dans le secteur du cajou.” ComCashew 48p.
131. **Godjo, T., Tagutchou, J.-P., Naquin, P., Gourdon, R., 2015.** Valorisation des coques d'anacarde par pyrolyse au Bénin. *Environ. Ingénierie Dév.* N°70-novembre 2015. 8p. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3282> (consulté le 01/12/2023)
132. **Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., Bending, G.D., 2006.** Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agric. Ecosyst. Environ.* 113 (1), 17–35. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.09.009> (consulté le 25/03/2024)
133. **Goudiaby, A.O.K., Diédhiou, S., Ndiaye, S., Ndour, N., Ndoye, I., 2018.** Effet des substrats sur la mycorhization et la croissance de *Anacardium occidentale* L. en pépinière et des sujets adultes sur les paramètres physico-chimiques du sol. *Afr. Sci.* 14 (6), 148–159.

134. **Goujon, P., Lefèbvre, A., Leturcq, P., Marcellesi, A.P., Praloran, J.C., 1973.** Etudes sur l'Anacardier. *Bois For. Trop.* 151, 27–53. <https://doi.org/10.19182/bft1973.151.a19178> (consulté le 25/02/2024)
135. **Grundon, N., 1998.** Fertilisation des noix de cajou : validation des stratégies de fertilisation dans le nord du Queensland. RIRDC.
136. **Guedes-Oliveira, J.M., Salgado, R.L., Costa-Lima, B.R.C., Guedes-Oliveira, J., Conte-Junior, C.A., 2016.** Washed cashew apple fiber (*Anacardium occidentale* L.) as fat replacer in chicken patties. *LWT - Food Sci. Technol.* 71, 268–273. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.005> (consulté le 25/11/2023)
137. **Guerrero-Galán, C., Garcia, K., Houdinet, G., Zimmermann, S.D., 2018.** HcTOK1 participates in the maintenance of K⁺ homeostasis in the ectomycorrhizal fungus *Hebeloma cylindrosporum*, which is essential for the symbiotic K⁺ nutrition of *Pinus pinaster*. *Plant Signal. Behav.* 13 (6), 3. <https://doi.org/10.1080/15592324.2018.1480845> (consulté le 28/05/2024)
138. **Guinberteau, J., Courtecuisse, R., 1997.** Diversité des champignons (surtout mycorrhiziens) dans les écosystèmes forestiers actuels. *Rev. For. Fr.* 49, 25–39. <https://doi.org/10.4267/2042/5673> (consulté le 27/05/2024)
139. **Guissou, T.G., 2001.** La symbiose mycorrhizienne à arbuscules chez des espèces ligneuses: Diversité des globales, dépendance mycorrhizienne, utilisation des phosphates naturels et tolérance à un stress hydrique (Thèse de Doctorat). Université de Ouagadougou. 227p.
140. **Guissou, T.G., 2000.** La symbiose mycorrhizienne a arbuscules chez des espèces d'arbres: diversité des globales, dépendance mycorrhizienne, utilisation des phosphates naturels et tolérance a un stress hydrique. Thèse de doctorat : Université de Ouagadougou, (Burkina Faso). 227p.
141. **Gupta, M.M., 2020.** Arbuscular Mycorrhizal Fungi: The Potential Soil Health Indicators, in: Giri, B., Varma, A. (Eds.), *Soil Health, Soil Biology*. Springer International Publishing, Cham, pp. 183–195. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44364-1_11 (consulté le 07/12/2023)
142. **Guttenberger, M., 2000.** Arbuscules of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi inhabit an acidic compartment within plant roots. *Planta* 211 (3), 299–304. <https://doi.org/10.1007/s004250000324> (consulté le 23/08/2022)
143. **Guzzon, M.P., 2014.** Etudes moléculaires de la diversité des communautés et populations de champignons mycorrhiziens à arbuscules (*Glomeromycota*). Thèse de Doctorat. Université de Bourgogne. 191p.

144. **Haberfeld, I., 2023.** Vitamine C : quand prendre LA vitamine anti fatigue ? J. Femmes 5. <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-nutrition/2558304-quand-prendre-vitamine-c/> (consulté le 30/11/2023)
145. **Habibu, A., Isiyaku Alhaji, M., Hamidu Muhammed, A., Saminu Hamisu, A., 2021.** A review of research in soil fertility management and plant nutrition of cashew (*Anacardium occidentale* L.) in Nigeria. *World J. Adv. Res. Rev.* 11 (3), 160–167. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.11.3.0434> (consulté le 15/12/2021)
146. **Hamad, F.B., Mubofu, E.B., 2015.** Potential Biological Applications of Bio-Based Anacardic Acids and Their Derivatives. *Int. J. Mol. Sci.* 16 (4), 8569–8590. <https://doi.org/10.3390/ijms16048569> (consulté le 06/07/2022)
147. **Hamawa, Y., Dona, A., Kanmegne, O.N., Mbaye-Niwah, C., Awono, J., Mapongmetsem, P.M., 2019.** Effet du poids de noix et de la dose d’engrais sur la germination et la croissance de l’anacardier (*Anacardium occidentale* L., *Anacardiaceae*) dans la savane guinéenne du Cameroun. *Afr. Sci.* 15 (5), 302–312.
148. **Haro, H., Sanon, K., Roux, C., Duponnois, R., Traore, A., 2018.** Improvement of cowpea productivity by rhizobial and mycorrhizal inoculation in Burkina Faso. *Symbiosis* 74, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13199-017-0478-3> (consulté le 02/03/2024)
149. **Haro, H., Sanon, K.B., Krasova-Wade, T., Kane, A., N’Doye, I., Traore, A.S., 2015.** Réponse à la double inoculation mycorrhizienne et rhizobienne du niébé (variété, K VX396-4-5-2D) cultivé au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9 (3), 1485–1493. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.31> (consulté le 16/12/2022)
150. **Hashem, A., Abd_Allah, E.F., Alqarawi, A.A., Al Huqail, A.A., Egamberdieva, D., Wirth, S., 2016.** Alleviation of cadmium stress in *Solanum lycopersicum* L. by arbuscular mycorrhizal fungi via induction of acquired systemic tolerance. *Saudi J. Biol. Sci.* 23 (2), 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.11.002> (consulté le 06/12/2023)
151. **Hassan, S.E.D., Boon, E., St-Arnaud, M., Hijri, M., 2011.** Molecular biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trace metal-polluted soils. *Mol. Ecol.* 20 (16), 3469–3483. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2011.05142.x> (consulté le 23/11/2023)
152. **Haugen, L.M., Smith, S.E., 1993.** The Effect of Inoculation of Cashew with NutriLink on Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection and Plmt Growth. *Aust J Agric Res* 44, 1211–1220.
153. **Hause, B., Fester, T., 2005.** Molecular and cell biology of arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Planta* 221, 184–196. <https://doi.org/10.1007/s00425-004-1436-x> (consulté le 15/11/2021)
154. **Havik, P.J., Monteiro, F., Catarino, S., Correia, A.M., Catarino, L., Romeiras, M.M., 2018.** Agro-Economic Transitions in Guinea-Bissau (West Africa): Historical Trends and

- Current Insights. *Sustainability* 10 (10), 19. <https://doi.org/10.3390/su10103408> (consulté le 29/11/2023)
155. **Heinemeyer, A., Ridgway, K.P., Edwards, E.J., Benham, D.G., Young, J.P.W., Fitter, A.H., 2004.** Impact of soil warming and shading on colonization and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of a native grassland community. *Glob. Change Biol.* 10 (1), 52–64. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2003.00713.x> (consulté le 23/08/2022)
 156. **Hien, S., 2019.** Aperçu de l'évolution de la production d'anacarde et évolution du marché de noix brutes de cajou dans la sous-région et perspectives pour 2019/2020, in: N'Kalô, Papier de Conférence, Forum Sur Le Cajou Sahélien Du. Presented at the Forum sur le cajou sahélien, Bamako (Mali), p. 16.
 157. **Hinsinger, P., Herrmann, L., Lesueur, D., Robin, A., Trap, J., Waithaisong, K., Plassard, C., 2015.** Impact of Roots, Microorganisms and Microfauna on the Fate of Soil Phosphorus in the Rhizosphere, in: Phosphorus Metabolism in Plants. pp. 375–407. <https://doi.org/10.1002/9781118958841.ch13>(consulté le 03/03/2024)
 158. **Hirissou, F., 2020.** Les mycorhizes, des alliés dans l'alimentation et la protection des plantes. Chamb. D'agriculture Dordogne. 12p.
 159. **Hodge, A., Storer, K., 2014.** Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. *Plant Soil* 386 (1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2162-1> (consulté le 23/08/2022)
 160. **Hopkins, W.G., 2003.** Physiologie végétale, 1st (ed). De Boeck. 514p.
 161. **Hore, J.K., Murmu, D.K., Chattopadhyay, N., Alam, M.K., 2015.** Evaluation of Cashew germplasm in West Bengal. *Acta Hortic.* 135–141. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1080.15> (consulté le 06/05/2024)
 162. **Hu, B., Hu, S., Vymazal, J., Chen, Z., 2022.** Application of arbuscular mycorrhizal fungi for pharmaceuticals and personal care productions removal in constructed wetlands with different substrate. *J. Clean. Prod.* 339, 6. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130760> (consulté le 07/12/2023)
 163. **Huber, G., Schaub, C., 2011.** La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. 46p.
 164. **iCA, 2014.** African Cashew Alliance. Promouvoir les noix de cajou d'Afrique dans le monde entier. 15p.
 165. **Ipinmoroti, R.R., Iremiren, G.O., Olubamiwa, Fademi, A.O., Aigbekaen, E.O., 2011.** Effect of Inorganic and Organic Based Fertilizers on Growth Performance of Tea and Cost Implications in Kusuku, Nigeria. *J. Life Sci.* 5.

166. **IRD, USDA, 2012.** The Cashew Cookbook: Recipes from Gambia and Senegal. Healthy, Nutritious AND Tasty. 42p.
167. **ISRA, 2013.** Caractérisation des variétés d'anacardes au Sénégal et en Gambie. Somm. Pour Pépiniér. CEP2. 21p.
168. **ITRA, 2021.** Bien choisir au niveau cantonal, les sols de production agricole au Togo - ITRA Togo. URL <https://itra.tg/bien-choisir-au-niveau-cantonal-les-sols-de-production-agricole-au-togo/> (accessed 5.27.24).
169. **Ittersum, M., Bussel, L., Wolf, J., Grassini, P., Wart, J., Guilpart, N., Claessens, L., Groot, H.L.E., Wiebe, K., Mason-D'Croz, D., Yang, H., Boogaard, H., Oort, P., van Loon, M., Saito, K., Ochieng Adimo, A., adjei-nsiah, S., Alhassane, A., Bala, A., Cassman, K., 2016.** Can Sub-Saharan Africa Feed Itself? *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113 (52), 14964–14969. <https://doi.org/10.1073/pnas.1610359113> (consulté le 06/01/2024)
170. **James, T.Y., Stajich, J.E., Hittinger, C.T., Rokas, A., 2020.** Toward a Fully Resolved Fungal Tree of Life. *Annu. Rev. Microbiol.* 74 (1), 291–313. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-022020-051835> (consulté le 07/12/2023)
171. **Janos, D.P., 2007.** Plant responsiveness to mycorrhizas differs from dependence upon mycorrhizas. *Mycorrhiza* 17 (2), 75–91. <https://doi.org/10.1007/s00572-006-0094-1> (consulté le 15/03/2024)
172. **Joker, D., 2003.** Information about cashew nut (*Anacardium occidentale*), 17th (ed). Danida, USA. 48p.
173. **Jung, S.C., Martinez-Medina, A., Lopez-Raez, J.A., Pozo, M.J., 2012.** Mycorrhiza-Induced Resistance and Priming of Plant Defenses. *J. Chem. Ecol.* 38 (6), 651–664. <https://doi.org/10.1007/s10886-012-0134-6> (consulté le 12/01/2024)
174. **Kachkouch, W., Touhami, A.O., Filali-Maltouf, A., Modafar, C.E., Moukhli, A., Oukabli, A., Douira, A., 2012.** Arbuscular mycorrhizal fungi species associated with rhizosphere of *Olea europaea* L. in Morocco. *J. Anim. Plant Sci.* 15 (3), 2275–2287.
175. **Koegel, S., Boller, T., Lehmann, M.F., Wiemken, A., Courty, P.-E., 2013.** Rapid nitrogen transfer in the *Sorghum bicolor*-*Glomus mosseae* arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant Signal. Behav.* 8 (8), 3. <https://doi.org/10.4161/psb.25229> (consulté le 07/12/2023)
176. **Koffi, M.C., Vos, C., Draye, X., Declerck, S., 2013.** Effects of *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833 on the reproduction of *Radopholus similis* in banana plantlets grown under in vitro culture conditions. *Mycorrhiza* 23 (4), 279–288. <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0467-6> (consulté le 11/01/2024)

177. **Kolliesuah, N.P., Saysay, J.L., Zinnah, M.M., Freeman, A.T., Chinenye, D., 2020.** Trend analysis of production, consumption and export of cashew crop in West Africa. *Afr. Crop Sci. J.* 28 (1), 187–202. <https://doi.org/10.4314/acsj.v28is1.14S> (consulté le 26/06/2024)
178. **Lacroix, E.J., 2003.** Les anacardiens, les noix de cajou et la filière anacarde à Bassila et au Bénin. GFA terra systems. 75p.
179. **Lalitha, M., Anil Kumar, K.S., Dharumarajan, S., Balakrishnan, N., Srinivasan, R., Nair, K.M., Hegde, R., Singh, S.K., 2017.** Role of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae in Mobilization of Soil Phosphorus, in: Meena, V.S., Mishra, P.K., Bisht, J.K., Pattanayak, A. (Eds.), *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture : Volume I: Plant-Soil-Microbe Nexus*. Springer, Singapore, pp. 317–331. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5589-8_15 (consulté le 10/12/2023)
180. **Lanfranco, L., Fiorilli, V., Gutjahr, C., 2018.** Partner communication and role of nutrients in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytol.* 220 (4), 1031–1046. <https://doi.org/10.1111/nph.15230> (consulté le 08/12/2023)
181. **Lautié, E., Dornier, M., De Souza Filho, M., Reynes, M., 2001.** Les produits de l’anacardier : caractéristiques, voies de valorisation et marchés. *Fruits* 56 (4), 235–248. <https://doi.org/10.1051/fruits:2001126> (consulté le 28/01/2021)
182. **Lawal, J.O., Jayeola, C., 2007.** Economic analysis of cocoa wine produced from cocoa powder. *J. Food Agric. Environ.* 5 (2), 76–77.
183. **Lefebvre, A., 1970.** Indications préliminaires sur la fertilisation de l’anacardier. *Fruits*. 25 (9), 621–628.
184. **Lehmann, A., Veresoglou, S.D., Leifheit, E.F., Rillig, M.C., 2014.** Arbuscular mycorrhizal influence on zinc nutrition in crop plants—a meta-analysis. *Soil Biol. Biochem.* 69, 123–131.
185. **Leye, E., Malick, N., Diouf, M., Tahir, D., 2015.** Etude comparative de l’effet de souches de champignons mycorrhiziens arbusculaires sur la croissance et la nutrition minérale du Sésame cultivé au Sénégal. *Afr. Crop Sci. J.* 23 (3), 211–219.
186. **Liaotrakoon, W., Namhong, T., Yu, C.H., Chen, H.H., 2016.** Impact de la torréfaction sur les changements de composition et de qualité de l’huile de noix de cajou (*Anacardium occidentale*) (Article). *Rev. Int. Rech. Aliment.* 23 (6), 986–991.
187. **Liu, H., Yuan, M., Tan, S., Yang, X., Lan, Z., Jiang, Q., Ye, Z., Jing, Y., 2015.** Enhancement of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus versiforme*) on the growth and Cd uptake by Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum*. *Appl. Soil Ecol.* 89, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.01.006> (consulté le 08/12/2023)

188. **Lowder, S., Scoet, J., Raney, T., 2016.** The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide. *World Dev.* 87, 14. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041> (consulté le 07/03/2023)
189. **Ma, X., Xu, X., Geng, Q., Luo, Y., Ju, C., Li, Q., Zhou, Y., 2023.** Global arbuscular mycorrhizal fungal diversity and abundance decreases with soil available phosphorus. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 32, 1423–1434. <https://doi.org/10.1111/geb.13704> (consulté le 23/08/2023)
190. **Malicka, M., Magurno, F., Posta, K., Chmura, D., Piotrowska-Seget, Z., 2021.** Differences in the effects of single and mixed species of AMF on the growth and oxidative stress defense in *Lolium perenne* exposed to hydrocarbons. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 217, 10. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112252> (consulté le 08/12/2023)
191. **Malonda, A.N., Nzola-Meso, T.M., Manga, A.M., Yandju, M.C., 2019.** Effet des champignons mycorrhiziens Arbusculaires sur le phosphore des sols tropicaux et implication dans la biosynthèse du caroténoïde du manioc. *Journal of Applied Biosciences.* 135, 15.
192. **Malou, G., 2014.** Caractérisation et germination des semences de quatre variétés de *Anacardium occidentale* L. : Bénin jaune, Costa Rica, Henry et James. (Mémoire de Master : Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers). Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ). 35p.
193. **Manga, A., Ndiaye, F., Diop, T.A., 2017.** Le champignon arbusculaire *Glomus aggregatum* améliore la nutrition minérale de *Acacia seyal* soumis au stress salin progressif. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11 (5), 2352–2365. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.32> (consulté le
194. **Manga, A.G.B., Ndiaye, M., Ndiaye, M.A.F., Sané, S., Diop, T.A., Diatta, A.A., Bassene, C., Min, D., Battaglia, M., Harrison, M.T., 2022.** Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improve Growth and Phosphate Nutrition of *Acacia seyal* (Delile) under Saline Conditions. *Soil Syst.* 6 (4), 18. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6040079> (consulté le 16/12/2022)
195. **Mangalassery, S., Kalaivanan, D., Philip, P.S., 2019.** Effect of inorganic fertilisers and organic amendments on soil aggregation and biochemical characteristics in a weathered tropical soil. *Soil Tillage Res.* 187, 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.008> (consulté le 28/03/2024)
196. **Marlos, A.B., Lacerda, C.F. de, Gomes Filho, E., Abreu, C.E.B. de, Prisco, J.T., 2007.** Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. *Braz. J. Plant Physiol.* 19, 449–461. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400012> (consulté le 02/03/2022)
197. **Mathur, S., Jajoo, A., 2020.** Arbuscular mycorrhizal fungi protects maize plants from high temperature stress by regulating photosystem II heterogeneity. *Ind. Crops Prod.* 143, 11.

198. **Mbaye, T., Gning, F., Fall, D., Ndiaye, A., Ngom, D., Cisse, M., Ndiaye, S., 2019.** Effet du greffage horticole et de l'inoculation mycorhizienne sur la croissance du baobab (*Adansonia digitata* L.) en Moyenne et Haute Casamance (Sénégal). *Eur. Sci. J. ESJ* 15 (36), 507–527. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n36p507> (consulté le 16/03/2024)
199. **McGonigle, T.P., Miller, M.H., Evans, D.G., Fairchild, G.L., Swan, J.A., 1990.** A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115 (3), 495–501. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x> (consulté le 28/10/2021)
200. **Meena, V.S., Maurya, B.R., Verma, J.P., Aeron, A., Kumar, A., Kim, K., Bajpai, V.K., 2015.** Potassium solubilizing rhizobacteria (KSR): Isolation, identification, and K-release dynamics from waste mica. *Ecol. Eng.* 81, 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.065> (consulté le 12/11/2023)
201. **Meena, V.S., Meena, S.K., Verma, J.P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P.K., Bisht, J.K., Pattanayak, A., Naveed, M., Dotaniya, M.L., 2017.** Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review. *Ecol. Eng.* 107, 8–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.058> (consulté le 16/01/2024)
202. **Meier, S., Borie, F., Curaqueo, G., Bolan, N., Cornejo, P., 2012.** Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on metallophyte and agricultural plants growing at increasing copper levels. *Appl. Soil Ecol., Microorganisms and the Sustainable Management of Soil* 61, 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.10.018> (consulté le 08/12/2023)
203. **Melillo, E.D., 2012.** The First Green Revolution: Debt Peonage and the Making of the Nitrogen Fertilizer Trade, 1840–1930. *Am. Hist. Rev.* 117 (4), 1028–1060. <https://doi.org/10.1093/ahr/117.4.1028> (consulté le 16/01/2024)
204. **Mendes, O., 2007.** Agroclimatologie de la production de l'anacardier en guinée-bissau (Mémoire de fin d'étude). Centre Régional AGRHYMET. 40p.
205. **Michodjehoun-Mestres, L., Souquet, J.-M., Fulcrand, H., Gassie, C., Reynes, R., Brillouet, J.-M., 2009.** Monomeric phenols of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.). *Food Chem.* 112, 851–857. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.056> (consulté le 17/11/2021)
206. **Miransari, M., 2011.** Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria. *Appl Microbiol Biotechnol.* 89, 917–930.
207. **Mnoney, E., Mantell, S., Bennett, M., 2001.** Use of random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers to reveal genetic diversity within and between populations of cashew (*Anacardium occidentale* L.). *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76 (4), 375–383. <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511380> (consulté le 26/08/2023)

208. **Mofini, M.-T., 2021.** Diversité et rôle des champignons rhizosphériques associés au mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) dans le bassin arachidier du Sénégal (Thèse de Doctorat). Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 160p.
209. **Mohammadi, K., Khalesro, S., Sohrabi, Y., Heidari, G., 2011.** Beneficial Effects of the Mycorrhizal Fungi for Plant Growth. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.* 9, 10.
210. **Moretti, C.L., Mattos, L.M., Calbo, A.G., Sargent, S.A., 2010.** Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. *Food Res. Int., Climate Change and Food Science* 43 (7), 1824–1832. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.10.013> (consulté le 08/03/2024)
211. **Morton, J.B., Benny, G.L., 1990.** Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, glomales, two new suborders, *Glomineae* and *Gigasporineae*, and two new families, *Acaulosporaceae* and *Gigasporaceae*, with an emendation of *Glomaceae*. *Mycotaxon* 37, 471–491.
212. **Morton, J.B., Bentivenga, S.P., 1994.** Levels of diversity in endomycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes) and their role in defining taxonomic and non-taxonomic groups. *Plant Soil* 159 (1), 47. <https://doi.org/10.1007/BF00000094> (consulté le 11/01/2024)
213. **Mosse, B., 1986.** Mycorrhiza in a Sustainable Agriculture. *Biol. Agric. Hortic.* 3, 191–209. <https://doi.org/10.1080/01448765.1986.9754471> (consulté le 04/01/2023)
214. **Murali, K.S., 1997.** Patterns of Seed Size, Germination and Seed Viability of Tropical Tree Species in Southern India. *Biotropica* 29 (3), 271–279.
215. **Nakamura, S., Issaka, R., Dzomeku, I., Fukuda, M., Buri, M., Avornyo, V., Adjei, E., Awuni, J., Tobita, S., 2013.** Effect of Burkina Faso phosphate rock direct application on Ghanaian rice cultivation. *Afr. J. Agric. Res.* 8 (17), 1779–1789. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.1830> (consulté le 09/04/2024)
216. **Nakmee, P.S., Techapinyawat, S., Ngamprasit, S., 2016.** Comparative potentials of native arbuscular mycorrhizal fungi to improve nutrient uptake and biomass of *Sorghum bicolor* Linn. *Agric. Nat. Resour.* 50 (3), 173–178.
217. **Ndiaye, A., 2013.** L’agriculture sénégalaise de 1958 à 2012 : analyse systémique et prospective, Etudes africaines (Paris. 1996). 1^e (ed). L’Harmattan, Paris. 224p.
218. **Ndiaye, L., 2023.** L’anacardier (*Anacardium occidentale* L.) en Casamance, au sud du Sénégal : variabilité agromorphométrique et génétique dans les plantations et valorisation de la pomme de cajou. Université Assane Seck de Ziguinchor. 192p.

219. **Ndiaye, L., Charahabil, M.M., Niang, L., Diouf, A., 2022a.** Valeur nutritionnelle et énergétique des pommes de cajou (*Anacardium occidentale* L.) de la Casamance, Sénégal 21 (2), 13–24.
220. **Ndiaye, L., Charahabil, M.M., Niang, L., Diouf, A., Thiocone, K.M.O., Ayessou, N.C., Diatta, M., 2022b.** Physicochemical, Biochemical and Antioxidant Potential Characterisation of Cashew Apple (*Anacardium occidentale* L.) from the Agro-Ecological Zone of Casamance (Senegal). *Food Nutr. Sci.* 13 (4), 439–452. <https://doi.org/10.4236/fns.2022.134032> (consulté le 13/03/2023)
221. **Ndiaye, M., 2020.** Dynamiques des territoires ruraux au Sénégal: Culture de l'espèce *Anacardium occidentale*. Linnaeus et stratégies de lutte contre la pauvreté dans les Départements de Foundiougne (Commune de Diossong) et Ziguinchor (phdthesis). Université Gaston Berger Saint-Louis (Sénégal). 334p.
222. **Ndiaye, S., 2020.** Caractérisation agroécologique et socioéconomique des systèmes de production des parcs à anacardier (*Anacardium occidentale* L.) en Casamance (These de doctorat). Université Assane Seck de Ziguinchor. 162p.
223. **Ndiaye, S., Charahabil, M., Diatta, M., 2020a.** Evaluation de la qualité des noix brutes d'anacarde en casamance (Sénégal). *Eur. Sci. J. ESJ* 16 (6), 22. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n6p374> (consulté le 10/12/2021)
224. **Ndiaye, S., Charahabil, M.M., Diatta, M., 2021.** Caractéristiques des plantations d'anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) et déterminants économiques des exploitations en Casamance. *VertigO - Rev. Électronique En Sci. Environ.* 23p.
225. **Ndiaye, S., Charahabil, M.M., Diatta, M., 2020b.** Effet de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) sur les propriétés physicochimiques des sols (Casamance / Sénégal). *Am. J. Innov. Res. Appl. Sci.* 10 (0), 44–54.
226. **Ndiaye, S., Charahabil, M.M., Diatta, M., 2017.** Caractérisation des Plantations à base d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans le Balantacounda: cas des communes de Kaour, Goudomp et Djibanar (Casamance/Sénégal). *Eur. Sci. J.* 13, 242–257. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n12p242> (consulté le 12/12/2022)
227. **Ndiaye, S., Djighaly, P.I., Diedhiou, O.B.A., Badiane, P.D., 2020c.** Effets d'aliments à base de pulpe d'anacarde (*Anacardium occidentale* L.) séchée sur les performances des poulets de chair en phase de croissance en Casamance, Sénégal. *Rev Ivoir Sci Technol* 35 (2020), 193–213.

228. **Ndiaye, S.A., 2017.** Typologie des plantations d’anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans deux zones agro-écologiques du Sénégal. Intensif. Agro-Écologique Prod. Transform. Cajou En Afr. Problématique–Acquis *Sci. Technol.* 21.
229. **N’djolosse, K., Adoukonou-Sagbadja, H., Maliki, R., Kodjo, S., Badou, A., Adjovi, R.N.A., 2020.** Performances agronomiques des arbres-mères d’anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) sélectionnés dans les plantations paysannes au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14, 1536–1546.
230. **Niang, P.M., 2017.** Caractérisation de noix et tests de germination de six variétés de *Anacardium occidentale* L de la région de Sédhiou : Benin Jaune, Brésil, Henry, James, Kinta, Maram (Mémoire de Master : Foresterie et Environnement pour une Gestion Durable des Ressources Naturelles). Université de Thiès - Ecole Nationale Supérieure d’Agriculture (ENSA). 40p.
231. **Nishida, H., Suzaki, T., 2018.** Nitrate-mediated control of root nodule symbiosis. *Curr. Opin. Plant Biol., Biotic Interactions* 44, 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.04.006> (consulté le 02/12/2023)
232. **Nonogaki, H., Bassel, G., Bewley, J., 2010.** Germination—Still a mystery. *Plant Sci.* 179, 574–581. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.02.010> (consulté le 24/02/2024)
233. **Nyawira Muchane, M., Karanja, D., Mwangi Wambugu, G., Mwangi Mutahi, J., Masiga, C.W., Mugoya, C., Muchai, M., 2012.** Land use practices and their implications on soil macro-fauna in Maasai Mara ecosystem. *Int. J. Biodivers. Conserv.* 3 (13), 15. <https://doi.org/10.5897/IJBC12.030> (consulté le 23/05/2023)
234. **Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Boller, T., Wiemken, A., 2003.** Impact of Land Use Intensity on the Species Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agroecosystems of Central Europe. *Appl. Environ. Microbiol.* 69 (5), 2816–2824. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.5.2816-2824.2003> (consulté le 23/05/2023)
235. **O’Farrell, P.J., Armour, J.D., Reid, D.J., 2010.** Nitrogen use for high productivity and sustainability in cashew. *Sci. Hortic.* 124 (1), 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.11.016> (consulté le 07/12/2023)
236. **Ognalaga, M., Odjogui, P.I.O., Lekambou, J.M., Poligui, R.N., 2015.** Effet des écumes de canne à sucre, de la poudre et du compost à base de *Chromolaena odorata* (L.) King R.M. & H.E. Rob sur la croissance de l’oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9 (5), 2507–2519. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i5.22> (consulté le 12/11/2023)

237. **Ogunwolu, S.O., Henshaw, F.O., Mock, H.-P., Santros, A., Awonorin, S.O., 2009.** Functional properties of protein concentrates and isolates produced from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut. *Food Chem.* 115 (3), 852–858.
238. **Ohler, J.G., 1988.** Cashew, 1e (ed). Koninklijk Instituut Voor De Tropen, Amsterdam.
239. **Olajide, O.A., Aderogba, M.A., Fiebich, B.L., 2013.** Mechanisms of anti-inflammatory property of *Anacardium occidentale* stem bark: inhibition of NF- κ B and MAPK signalling in the microglia. *J. Ethnopharmacol.* 145 (1), 42–49.
240. **Oliveira, S.T., Azevedo, M.I.G., Cunha, R.M.S., Silva, C.F.B., Muniz, C.R., Monteiro-Júnior, J.E., Carneiro, R.F., Nagano, C.S., Girão, M.S., Freitas, C.D.T., Grangeiro, T.B., 2020.** Structural and functional features of a class VI chitinase from cashew (*Anacardium occidentale* L.) with antifungal properties. *Phytochemistry* 180, 112527. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112527> (consulté le 25/11/2023)
241. **Ona, A., Amin, M., Emteas, M., Ahmad, H., Uddin, D., 2017.** Performance of eight cashew (*Anacardium occidentale*) germplasm in Bangladesh. *Int. J. Bus. Soc. Sci. Res.* 5(4), 175–182.
242. **Ondo, O.E., 2014.** Caractérisation d'une collection de variétés anciennes de blé pour leur réponse à la mycorrhization et impact sur la qualité du grain (phdthesis). Université de Bourgogne. 199p.
243. **Onoja, S.O., Ifenkwe, D.C., Daniel-Igwe, G., Ezech, G.C., Ezeja, M.I., Anaga, A.O., 2019.** Gastroprotective effects of polyphenol rich extract of *Anacardium occidentale* L. leaf. *Niger. Vet. J.* 40 (2), 110–117. <https://doi.org/10.4314/nvj.v40i2.3> (consulté 02/12/2023)
244. **ONUUDI, 2016.** Rapport annuel de l'ONUUDI 2015. Vienne. 112p.
245. **OOAS, 2020.** Pharmacopée de l'Afrique de l'Ouest, PAO. Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). 321p.
246. **Ortas, I., Sari, N., Akpınar, C., Yetisir, H., 2013.** Selection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Species for Tomato Seedling Growth, Mycorrhizal Dependency and Nutrient Uptake. *Europ.J.Hort.Sci.* 78 (5), 209–218.
247. **Ouattara, B., Diedhiou, I., Ndir, K., Agbangba, E., Cisse, N., Diouf, D., Akpo, E., Zongo, J., 2013.** Variation in seed traits and distribution of *Jatropha curcas* L in Senegal. *Int. J. Curr. Res.* 5 (2), 017–021.
248. **Ouattara, L.P.E., Sangaré, I., Namountougou, M., Hien, A., Ouari, A., Soma, D.D., Kassié, D., Diabaté, A., Gnankiné, O., Bonnet, E., Ridde, V., Akré, M.A., Fournet, F., Dabiré, K.R., 2019.** Surveys of arboviruses vectors in four cities stretching along a railway transect of Burkina Faso: risk transmission and insecticide susceptibility status of potential vectors. *Front. Vet. Sci.* 6, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00140> (consulté le 16/12/2022)

249. **Outamamat, E., El Mrabet, S., Dounas, H., Bargaz, A., Duponnois, R., Ouahmane, L., 2022.** Symbiotic interactions between a newly identified native mycorrhizal fungi complex and the endemic tree *Argania spinosa* mediate growth, photosynthesis, and enzymatic responses under drought stress conditions. *Can. J. For. Res.* 52 (3), 335–345. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0351> (consulté le 08/12/2023)
250. **Owen, D., Williams, A.P., Griffith, G.W., Withers, P.J.A., 2015.** Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. *Appl. Soil Ecol.* 86, 41–54. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.09.012> (consulté le 16/01/2024)
251. **PADEC, 2016.** Enquêtes sur le sous- secteur de l’anacarde au Sénégal. Programme d’Appui au développement économique de la Casamance. 23p.
252. **PADEC, 2006.** Programme de l’Appui au Développement Economique de la Casamance. (Enquête sur le sous -secteur de l’anacarde au Sénégal.), Résumé global. 20p.
253. **Panda, N.P.C., 2013.** The Complete Book On Cashew (cultivation, Processing & By-products). Asia Pacific Business Press Inc. 640p.
254. **Parihar, M., Rakshit, A., 2016.** Arbuscular Mycorrhiza: A Versatile Component for Alleviation of Salt Stress. *Nat. Environ. Pollut. Technol.* 15 (2), 417-428.
255. **Park, J.H., Bolan, N.S., Chung, J.W., Naidu, R., Megharaj, M., 2011.** Environmental monitoring of the role of phosphate compounds in enhancing immobilization and reducing bioavailability of lead in contaminated soils. *J. Environ. Monit.* 13 (8), 2234–2242. <https://doi.org/10.1039/C1EM10275C> (consulté le 24/05/2024)
256. **Phillips, J.M., Hayman, D.S., 1970.** Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55 (1), 7.
257. **Plenchette, C., Fortin, J.A., Furlan, V., 1983.** Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. *Plant Soil* 70 (2), 199–209. <https://doi.org/10.1007/BF02374780> (consulté le 29/10/2021)
258. **Plenchette, C., Perrin, R., Duvert, P., 1989.** The concept of soil infectivity and a method for its determination as applied to Endomycorrhizas. *Can. J. Bot.* 67, 112–115. <https://doi.org/10.1139/b89-016>
259. **Plouznikoff, K., Declerck, S., Calonne, M., 2016.** Mitigating abiotic stresses in crop plants by arbuscular mycorrhizal fungi, in: *Belowground Defence Strategies in Plants*. Springer, pp. 341–400. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42319-7_15 (consulté le 17/11/2021)

260. **Porcel, R., Aroca, R., Ruiz-Lozano, J.M., 2012.** Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32 (1), 181–200. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0029-x> (consulté le 07/12/2023)
261. **Pozo, M., Jung, S., López-Ráez, J., Azcon-Aguilar, C., 2010.** Impact of Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis on Plant Response to Biotic Stress: The Role of Plant Defence Mechanisms, in: *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer, pp. 193–207. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9489-6_9 (consulté le 12/01/2024)
262. **Prakash, A., Tandon, V., Sharma, N.C., 2004.** Effect of rock phosphate and VAM inoculation on growth
263. **Prasertsri, P., 2017.** Cashew Apple Juice: Contents and Effects on Health. *Nutr. Food Sci. Int. J.* 4 (1), 3. <https://doi.org/10.19080/NFSIJ.2017.04.555629> (consulté le 01/12/2023)
264. **Quiroga, G., Erice, G., Aroca, R., Zamarreño, Á.M., García-Mina, J.M., Ruiz-Lozano, J.M., 2020.** Radial water transport in arbuscular mycorrhizal maize plants under drought stress conditions is affected by indole-acetic acid (IAA) application. *J. Plant Physiol.* 246, 12.
265. **Redecker, D., Schüssler, A., Stockinger, H., Stürmer, S.L., Morton, J.B., Walker, C., 2013.** An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza* 23 (7), 515–531. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0486-y> (consulté le 11/11/2021)
266. **Rezvani, M., Ardakani, M.R., Rejali, F., Zaefarian, F., Teimouri, S., Noormohammadi, G., Miransari, M., 2015.** Uptake of Heavy Metals by Mycorrhizal Barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Plant Nutr.* 38 (6), 904–919. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.963114> (consulté le 08/12/2023)
267. **Riah, W., Laval, K., Laroche-Ajzenberg, E., Trinsoutrot Gattin, I., Mougin, C., Latour, X., 2014.** Effects of pesticides on soil enzymes: a review. *Env. Chem Lett* 12 (2), 257–273.
268. **Ricklefs, R.E., Miller, G.L., 2005.** *Écologie*. 1e (ed). De Boeck, Bruxelles [Paris]. 821p.
269. **Rillig, M.C., 2004.** Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil aggregation. *Can. J. Sci.* 84, 355–363.
270. **Romero-Munar, A., Baraza, E., Gulías, J., Cabot, C., 2019.** Arbuscular Mycorrhizal Fungi Confer Salt Tolerance in Giant Reed (*Arundo donax* L.) Plants Grown Under Low Phosphorus by Reducing Leaf Na⁺ Concentration and Improving Phosphorus Use Efficiency. *Front. Plant Sci.* 10, 14.
271. **Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., Pascale, S.D., Bonini, P., Colla, G., 2015.** Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants

- in horticultural crops. *Sci. Hortic., Biostimulants in Horticulture* 196, 91–108. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.002> (consulté le 05/01/2022)
272. **Ruissen, T., 2013.** Arbuscular mycorrhizal fungi and their ecological roles: a review with a Norwegian perspective. *Agarica* 33, 105-116.
273. **Ruiz-Sánchez, M., Aroca, R., Muñoz, Y., Polón, R., Ruiz-Lozano, J.M., 2010.** The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. *J. Plant Physiol.* 167 (11), 862–869.
274. **Rupa, T.R., Bhat, M.G., 2010.** Integrated nutrient management in cashew. *Indian J. Fertil.* 6 (11), 60–66.
275. **Sadhana, B., 2014.** Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) as a biofertilizer-a review. *Int J Curr Microbiol App Sci* 3 (4), 384–400.
276. **Sagna, H., 2024.** La Casamance vit de la noix de cajou. <https://www.enqueteplus.com/content/boubacar-konta-pr%C3%A9sident-de-1%E2%80%99interprofession-du-cajou-du-s%C3%A9n%C3%A9gal-icas-%C2%A0E2%80%98E2%80%99la-casamance-vit> (consulté le 22/05/2024)
277. **Sahraoui, A.L.-H., 2013.** La mycorhize à arbuscules : quels bénéfices pour l’homme et son environnement dans un contexte de développement durable? *Rev Sci Technol Synthèse* 26, 06–19.
278. **Sahri, F.Z., Boudiaf, I., Aliout, A., Beddiar, A., 2020.** Estimation du potentiel mycorrhizogène du sol d’une subéraie envahie par *Acacia mearnsii* dans le Nord-Est algérien 152, 176–182.
279. **Saïdou, A.-A., Mariac, C., Luong, V., Pham, J.-L., Bezançon, G., Vigouroux, Y., 2009.** Association Studies Identify Natural Variation at PHYC Linked to Flowering Time and Morphological Variation in Pearl Millet. *Genetics* 182 (3), 899–910.
280. **Salehi, B., Ata, A., V Anil Kumar, N., Sharopov, F., Ramírez-Alarcón, K., Ruiz-Ortega, A., Abdulmajid Ayatollahi, S., Tsouh Fokou, P.V., Kobarfard, F., Amiruddin Zakaria, Z., Iriti, M., Taheri, Y., Martorell, M., Sureda, A., Setzer, W.N., Durazzo, A., Lucarini, M., Santini, A., Capasso, R., Ostrander, E.A., Atta-ur-Rahman, Choudhary, M.I., Cho, W.C., Sharifi-Rad, J., 2019.** Antidiabetic Potential of Medicinal Plants and Their Active Components. *Biomolecules* 9 (10), 121. <https://doi.org/10.3390/biom9100551> (consulté le 25/11/2023)
281. **Salifou, M.I., Masawe, P.A.L., 2018.** A guide on developing cashew varieties and improved planting materials. Competitive Cashew initiative (ComCashew). 51p.
282. **Samb, C.O., 2015.** Etude de la levée de dormance et de la germination de cinq provenances de *Tamarindus indica* L.en condition de stress hydrique au Sénégal. (Mémoire de Master :

Foresterie et Environnement pour une Gestion Durable des Ressources Naturelles). Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA). 26p.

283. **Samb, C.O., Faye, E., Dieng, M., Sanogo, D., Arona, S., Samba, N., Koita, B., 2018a.** Dynamique spatio-temporelle des plantations d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans deux zones agro-écologiques du Sénégal. *Afr. Sci.* 14 (3), 365-377.
284. **Samb, C.O., Touré, M., Faye, E., Ba, H., Diallo, A., Badiane, S., Sanogo, D., 2018b.** Caractéristiques sociodémographique, structurale et agronomique des plantations d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) du Bassin arachidier et de la Casamance / Sénégal. *J. Anim. Plant Sci.* 38 (3), 6307–6325.
285. **Sané, A.K., Kane, A., Diallo, B., Ngom, M., Sané, D., Sy, M.O., 2022.** Response to Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi of Two Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Varieties Subjected to Salt Stress under Semi-Controlled Conditions. *Agric. Sci.* 13 (12), 1334–1362. <https://doi.org/10.4236/as.2022.1312082> (consulté le 24/05/2024)
286. **Sangay-Tucto, S., 2018.** Étude de l'impact des symbioses mycorhizienne et rhizobienne dans la domestication du Tara, *Caesalpinia spinosa* L. Universidad Peruana Cayetano Heredia. 146p.
287. **Sankhare, M., 2018.** Phénotypage des anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) de la sélection massale dans la région de Fatick (Sénégal) (Mémoire de fin d'étude). Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 44p.
288. **Savary, R., Masclaux, F.G., Wyss, T., Droh, G., Cruz Corella, J., Machado, A.P., Morton, J.B., Sanders, I.R., 2018.** A population genomics approach shows widespread geographical distribution of cryptic genomic forms of the symbiotic fungus *Rhizophagus irregularis*. *ISME J.* 12 (1), 17–30. <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.153> (consulté le 06/12/2023)
289. **Schouteden, N., De Waele, D., Panis, B., Vos, C.M., 2015.** Arbuscular Mycorrhizal Fungi for the Biocontrol of Plant-Parasitic Nematodes: A Review of the Mechanisms Involved. *Front. Microbiol.* 6 (17), 12-80. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01280> (consulté le 11/01/2024)
290. **Schüßler, A., Walker, C., 2011.** Evolution of the 'Plant-Symbiotic' Fungal Phylum, Glomeromycota, in: Pöggeler, S., Wöstemeyer, J. (Eds.), *Evolution of Fungi and Fungal-Like Organisms*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 163–185. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19974-5_7 (consulté le 27/05/2024)
291. **Scott, S.J., Jones, R.A., Williams, W.A., 1984.** Review of Data Analysis Methods for Seed Germination1. *Crop Sci.* 24 (6), 1192–1199. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x> (consulté le 23/02/2024)
292. **Sharma, D., 2018.** Distribution of Staminate and Hermaphrodite Flowers and Fruit-Set in the Canopy of Cashew Genotypes. *J. Hortic. Sci.* 4 (1), 45–49.

293. **Sharma, N., Singhvi, R., 2017.** Effects of Chemical Fertilizers and Pesticides on Human Health and Environment: A Review. *Int. J. Agric. Environ. Biotechnol.* 10 (6), 675. <https://doi.org/10.5958/2230-732X.2017.00083.3> (consulté le 08/03/2024)
294. **Sharma, P., Gaur, V.K., Sirohi, R., Larroche, C., Kim, S.H., Pandey, A., 2020.** Valorization of cashew nut processing residues for industrial applications. *Ind. Crops Prod.* 152, 112–550. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112550> (consulté le 29/11/2023)
295. **Shu, B., Xie, Y., Zhang, F., Zhang, D., Liu, C., Wu, Q., Luo, C., 2022.** Genome-wide identification of citrus calmodulin-like genes and their expression in response to arbuscular mycorrhizal fungi colonization and drought. *Can. J. Plant Sci.* 102 (1), 112–123. <https://doi.org/10.1139/cjps-2020-0160> (consulté le 08/12/2023)
296. **Siddiqui, Z.A., 2006.** PGPR: Prospective Biocontrol Agents of Plant Pathogens, in: Siddiqui, Z.A. (Ed.), PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, pp. 111–142. https://doi.org/10.1007/1-4020-4152-7_4 (consulté le 27/05/2024)
297. **Silva, V.L., Rogério, M.C.P., Bomfim, M.A.D., Leite, E.R., Lamdim, A.V., Alves, A.A., Costa, H.H.A., Freire, A.P.A., 2013.** Consumo e digestibilidade dos nutrientes dietéticos em cordeiros de diferentes grupos genéticos alimentados com farelo de castanha de caju. *Rev. Bras. Saúde E Produção Anim.* 14 (4), 695–709. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402013000400009> (consulté le 22/08/2022)
298. **Simard, S., Austin, M., 2010.** The Role of Mycorrhizas in Forest Soil Stability with Climate Change, 1st (ed), Climate Change and Variability. *IntechOpen.* pp 486. <https://doi.org/10.5772/9813> (consulté le 16/11/2021)
299. **Simon, L., Lévesque, R.C., Lalonde, M., 1992.** Rapid quantitation by PCR of endomycorrhizal fungi colonizing roots. *Genome Res.* 2 (1), 76–80. <https://doi.org/10.1101/gr.2.1.76> (consulté le 08/12/2023)
300. **Singh, B.K., Trivedi, P., Egidi, E., Macdonald, C.A., Delgado-Baquerizo, M., 2020.** Crop microbiome and sustainable agriculture. *Nat. Rev. Microbiol.* 18 (11), 601–602. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00446-y> (consulté le 16/01/2024)
301. **Singh, L.S., Medda, P.S., Bhattacharjee, H., Satya, P., 2010.** Performance of six genotypes of cashew (*Anacardium occidentale* L.) under terai agro-climatic zone of West Bengal. *Asian J Hort* 5 (1), 131-133.
302. **Singh, R., Singh, G.S., 2017.** Traditional agriculture: a climate-smart approach for sustainable food production. *Energy Ecol. Environ.* 2 (5), 296–316. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0074-7> (consulté le 08/03/2024)

303. **Siracusa, R., Fusco, R., Peritore, A.F., Cordaro, M., D'Amico, R., Genovese, T., Gugliandolo, E., Crupi, R., Smeriglio, A., Mandalari, G., Cuzzocrea, S., Di Paola, R., Impellizzeri, D., 2020.** The Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties of *Anacardium occidentale* L. Cashew Nuts in a Mouse Model of Colitis. *Nutrients* 12 (3), 20. <https://doi.org/10.3390/nu12030834> (consulté le 01/12/2023)
304. **Smith, S., Read, D., 2008.** Mycorrhizal Symbiosis - , 3rd (ed). Academic Press Inc. pp 800.
305. **Smith, S.E., Smith, F.A., 2011.** Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. *Annu. Rev. Plant Biol.* 62 (1), 227–250. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103846> (consulté le 07/12/2023)
306. **Solanki, P.D., Shah, N., Makati, J., 2015.** Studies on fruiting behaviour of different cultivars of cashew (*Anacardium occidentale* Linn.) under south gujarat condition CONDITION. *Acta Hort.* 4 (12), 171–173. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1080.20> (consulté le 21/07/2023)
307. **Soro, D., 2012.** Couplage des procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pommes de cajou : performances et impacts sur la qualité des produits (These de doctorat). Montpellier, SupAgro. 156p.
308. **Soumare, A., Diop, T., Manga, A.G.B., Ndoye, I., 2015.** Role of arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen fixing bacteria on legume growth under various environmental stresses. *Int. J. Biosci.* 7 (4), 31–46. <https://doi.org/10.12692/ijb/7.4.31-46> (consulté le 23/08/2023)
309. **Soumare, A., Sarr, D., Diédhiou, A.G., 2023.** Potassium sources, microorganisms, and plant nutrition—challenges and future research directions: *A review*. *Pedosphere* 33 (1), 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.025> (consulté le 23/08/2023)
310. **Souza, T., 2015.** Handbook of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, 1st (ed). Springer *International Publishing, Cham.* pp 153. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24850-9> (consulté le 24/02/2023)
311. **Spatafora, J.W., Chang, Y., Benny, G.L., Lazarus, K., Smith, M.E., Berbee, M.L., Bonito, G., Corradi, N., Grigoriev, I., Gryganskyi, A., James, T.Y., O'Donnell, K., Roberson, R.W., Taylor, T.N., Uehling, J., Vilgalys, R., White, M.M., Stajich, J.E., 2016.** A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia* 108 (5), 1028–1046. <https://doi.org/10.3852/16-042> (consulté le 16/11/2021)
312. **Strullu, D.G., Plenchette, C., Perrin, R., 1991.** Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées, TEC et DOC. 1sd (ed). Paris. pp 250.
313. **Stürmer, S.L., Bever, J.D., Morton, J.B., 2018.** Biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*): a phylogenetic perspective on species distribution patterns.

- Mycorrhiza* 28 (7), 587–603. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0864-6> (consulté le 06/12/2023)
314. **Subramanian, K.S., Charest, C., Dwyer, L.M., Hamilton, R.I., 1995.** Arbuscular mycorrhizas and water relations in maize under drought stress at tasselling. *New Phytol.* 129 (4), 643–650. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1995.tb03033.x> (consulté le 18/05/2024)
315. **Sultana, Z., Al Mamun, s. M., Islam, A., Mannan, M., Islam, M., 2022.** Morpho-Molecular Diversity of Cashew Nut (*Anacardium occidentale* L.) Germplasm of Bangladesh. *Plant Tissue Cult. Biotechnol.* 32 (2), 167–180. <https://doi.org/10.3329/ptcb.v32i2.63551> (consulté le 23/06/2023)
316. **Sumadi, Jumintono, Ardiani, F., 2020.** Supply Chain Brown Sugar Agroindustry in Banyuwangi District: Analysis Study with a Dynamic System Approach. *Int.JSup.Chain. Mgt.* 9 (1), 626-632.
317. **Taktek, S., 2015.** Dissolution biologique des phosphates : Interaction bactéries - mycorrhizes. Thèse de doctorat. Université Laval, Québec. 150p.
318. **Tandjiekpon, A.M., 2005.** Caractérisation du système agroforestier a base d'anacardier (*Anacardium occidentale* Linnaeus) en zone de savane au Bénin. Mémoire de DEA. Université d'Abomey-Calavi. 122p.
319. **Tchabi, A., Hountondji, F.C.C., Ogunsoola, B., Lawouin, L., Coyne, D., Wiemken, A., Oehl, F., 2016.** Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on development of micro-propagated yam plantlets and suppression of *Scutellonema bradys* (Tylenchidae). *J. Entomol. Nematol.* 8 (1), 1–10. <https://doi.org/10.5897/JEN2015.0149> (consulté le 27/05/2021)
320. **Tchassanti, L., Tchabi, A., Kadanga, P., Komlan, B., 2023.** Effet de l'orpaillage sur l'abondance et la diversité des espèces de champignons mycorrhiziens arbusculaires dans la région central du Togo. *Int. J. Adv. Res.* 11, 603–616. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/18022> (consulté le 11/05/2024)
321. **Thioye, B., 2017.** Amélioration de la croissance et de la production fruitière de *Ziziphus mauritiana* Lam. par l'inoculation mycorrhizienne dans deux vergers au Sénégal. Thèse de Doctorat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 262p.
322. **Tola, J., Mazengia, Y., 2019.** Cashew production benefits and opportunities in Ethiopia: A Review. *J. Agric. Crop Res.* 7 (2), 18–25. https://doi.org/10.33495/jacr_v7i2.19.105 (consulté le 21/07/2023)

323. **Totjssaint-Norlet, P., Giffard, P., 1961.** Les plantations de Darcassou (*Anacardium occidentale*) au Sénégal (rapport n°. 1082/232/663). ISRA, Centre Technique Forestier Tropical. 35 p.
324. **Touré, G.-P.T., Nandjui, J., Koné, A.W., Kouadjo, A.G.Z., Ebou, A., Tiho, S., Zézé, A., 2021.** Diversité des champignons mycorhiziens à arbuscules et interactions avec le système sol-litière dans un écotone forêt-savane, Côte d'Ivoire. *Etude Gest. Sols* 28, 93-104.
325. **Touré, M., Samb, C., Faye, E., 2019.** Germination de *Anacardium occidentale* L: intérêts et techniques. Série fiches techniques ISRA - ISSN 0850-9980. n°3. 4p.
326. **Touré, M.A., Faye, E., Malou, G., Diatta, M., Ndiaye Samba, S.A., Gassama, Y.K., 2018.** Traits morphométriques et germination des noix de *Anacardium occidentale* L. au Sénégal. *Afr. Sci.* 14 (2), 215–226.
327. **Trevisan, M.T.S., Pfundstein, B., Haubner, R., Würtele, G., Spiegelhalder, B., Bartsch, H., Owen, R.W., 2006.** Characterization of alkyl phenols in cashew (*Anacardium occidentale*) products and assay of their antioxidant capacity. *Food Chem. Toxicol.* 44 (2), 188–197.
328. **Trouvelot, A., Kough, J.L., Gianinazzi-Pearson, V., 1986.** Estimation of vesicular arbuscular mycorrhizal infection levels. Research for methods having a functional significance. *Physiol. Genet. Asp. Mycorrhizae Asp. Physiol. Genet. Mycorrhizes Proc. 1st Eur. Symp. Mycorrhizae Dijon 1-5 July 1985.* 2017–2021p.
329. **UNIFA, 2018.** Fertilisation. Collect. Fertil. Newsletter n°. 1. 2p.
330. **USAID, 2006.** La chaîne de valeurs anacarde au Sénégal analyse et cadre stratégique d'initiatives pour la croissance de la filière (Rappoert n°. 1). 78p.
331. **Varma, A., Kharkwal, A.C., 2009.** *Symbiotic Fungi: Principles and Practice*, 1st (ed), Soil Biology, 18. Springer Berlin Heidelberg : Imprint: Springer, Berlin, Heidelberg. pp 444.
332. **Veresoglou, S.D., Sen, R., Mamolos, A.P., Veresoglou, D.S., 2011.** Plant species identity and arbuscular mycorrhizal status modulate potential nitrification rates in nitrogen-limited grassland soils. *J. Ecol.* 99 (6), 1339–1349. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01863.x> (consulté le 11/01/2024)
333. **Viana, F.M.P., Cardoso, J.E., Saraiva, H. a. O., Ferreira, M. a. S.V., Mariano, R.L.R., Trindade, L.C., 2007.** First Report of a Bacterial Leaf and Fruit Spot of Cashew Nut (*Anacardium occidentale*) Caused by *Xanthomonas campestris* Pv. *Mangifera indica* in Brazil. *Plant Dis.* 91 (10), 1361. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-10-1361C> (consulté le 18/11/2021)
334. **Viégas, I. de J.M., Frazão, D.A.C., Thomaz, M.A.A., Conceição, H.E.O. da, Pinheiro, E., 2004.** Limitações nutricionais para o cultivo de açaizeiro em latossolo amarelo textura média,

- Estado do Pará. *Rev. Bras. Frutic.* 26, 382–384. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000200052> (consulté le 07/12/2023)
335. **Vieira, D.F.F., Junior, A.L.G., Machado, K. da C., Maia, W.M.N., Nascimento, T.L. do, Rios, M.A. de S., Lopes, L. da S., 2021.** Evaluation of the anticonvulsant and antioxidant activity of alkylated cardanol in rodents. *Nat. Prod. Res.* 35 (24), 6168–6174. <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1831496> (consulté le 29/11/2023)
336. **Vikram, H.C., Hegde, N.K., Jagadeesh, R.C., 2013.** Performance of cashew (*Anacardium occidentale* L.) varieties under northern transition zone of Karnataka. *J. Plant. Crops India.* 41 (3), 441-443.
337. **Viswanath, V., Leo, V.V., Sabna Prabha, S., Prabhakumari, C., Potty, V.P., Jisha, M.S., 2016.** Thermal properties of tannin extracted from *Anacardium occidentale* L. using TGA and FT-IR spectroscopy. *Nat. Prod. Res.* 30 (2), 223–227. <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1040992> (consulté le 29/11/2023)
338. **Vos, P., Hogers, R., Bleeker, M., Reijans, M., van de Lee, T., Hornes, M., Frijters, A., Pot, J., Peleman, J., Kuiper, M., 1995.** AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res.* 23 (21), 4407–4414. <https://doi.org/10.1093/nar/23.21.4407> (consulté le 23/11/2023)
339. **Wallis, N., BAGNAN, M., Akossou, A., Kanlindogbe, C., 2016.** Caractérisation morphologique d’une collection de fruits d’anacardier provenant de la commune de Parakou (Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10 (6), 2413–2422. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i6.1> (consulté le 29/11/2021)
340. **Wang, B., Qiu, Y.-L., 2006.** Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16 (5), 299–363. <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0033-6> (consulté le 15/11/2021)
341. **Welemariam, M., Kebede, F., Bedadi, B., Birhane, E., 2018.** Effect of community-based soil and water conservation practices on arbuscular mycorrhizal fungi types, spore densities, root colonization, and soil nutrients in the northern highlands of Ethiopia. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 5 (1), 9. <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0121-4> (consulté le 23/05/2023)
342. **Widiatmaka, W., Sutandi, A., Anas, I., Daras, U., Hikmat, M., Krisnohadi, A., 2014.** Establishing Land Suitability Criteria for Cashew (*Anacardium occidentale* L.) in Indonesia. *Appl. Environ. Soil Sci.* 2014, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2014/743194> (consulté le 05/04/2024)

343. **Willis, A., Rodrigues, B., Harris, P., 2013.** The Ecology of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Crit. Rev. Plant Sci.* 32 (1), 1–20. <https://doi.org/10.1080/07352689.2012.683375> (consulté le 07/12/2023)
344. **Yabi, I., Biaou, F.Y., Dadegnon, S., 2013.** Diversité des espèces végétales au sein des agroforêts à base d’anacardier dans la commune de Savalou au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7, 696–706. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i2.24> (consulté le 07/12/2023)
345. **Yang, X., Gao, W., Zhang, M., Chen, Y., Sui, P., 2014.** Reducing agricultural carbon footprint through diversified crop rotation systems in the North China Plain. *J. Clean. Prod.* 76, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.063> (consulté le 07/12/2023)
346. **Yao, K., Kimse, M., Soro, D., Fantodji, A., 2013.** Effet de l’incorporation de la noix de cajou dans les rations alimentaires sur les performances de croissance des porcs : phases post-sevrage et de croissance. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7 (2), 479–488. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i2.6> (consulté le 25/03/2024)
347. **Yisau, J.A., Fadebi, S.T., Ojekunle, O.O., Salami, K.D., 2023.** Effect of Seed Size and Source Variation on Germination Potentials of *Anacardium occidentale* (Linnaeus) Seeds. *Eur. J. Agric. Food Sci.* 5 (3), 1–4. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2023.5.3.671> (consulté le 21/02/2024)
348. **Zhang, S., Lehmann, A., Zheng, W., You, Z., Rillig, M.C., 2019.** Arbuscular mycorrhizal fungi increase grain yields: a meta-analysis. *New Phytol.* 222 (1), 543–555. <https://doi.org/10.1111/nph.15570> (consulté le 02/12/2023)
349. **Zhang, X., Chen, B., Ohtomo, R., 2015.** Mycorrhizal effects on growth, P uptake and Cd tolerance of the host plant vary among different AM fungal species. *Soil Sci. Plant Nutr.* 61 (2), 359–368. <https://doi.org/10.1080/00380768.2014.985578> (consulté le 21/11/2023)
350. **Zhao, Z., Wang, G., Yang, L., 2003.** Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a tropical rainforest of Xishuangbanna, southwest China. *Fungal Divers.* 13, 233-242.
351. **Zhu, X., Song, F., Liu, F., 2017.** Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Tolerance of Temperature Stress in Plants, in: Wu, Q.-S. (Ed.), *Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants*. Springer, Singapore, pp. 163–194. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4115-0_8 (consulté le 08/12/2023)
352. **Zy, S., Chen, Y., Hou, X., Gao, S., Wang, F., 2013.** Arbuscular mycorrhizal fungi associated with tree peony in 3 geographic locations in China. *Turk. J. Agric. For.* 37, 726-733. <https://doi.org/10.3906/tar-1301-69> (consulté le 17/08/2022)

ANNEXES

Annexe 1 : Données physiques des sols d'études

DESIGNATIONS	Argiles (%)	Limons (%)	Sable (%)	Texture
Ziguinchor	5,61314791	3,51453856	90,8723135	SL
Ziguinchor	7,83375315	5,8186398	86,3476071	LS
Ziguinchor	9,1910844	5,10894065	85,699975	LS
Sédhiou	8,09320972	5,61262841	86,2941619	LS
Sédhiou	6,97674419	5,86450961	87,1587462	SL
Sédhiou	8,50632911	5,51898734	85,9746835	LS
kolda	4,78	8,23	86,98	SL
kolda	6,06972661	3,88763481	90,0426386	SL
kolda	3,3915212	4,33915212	92,2693267	S
Fatick	1,92307692	2,73279352	95,3441296	S
Fatick	1,40485313	2,75862069	95,8365262	S
Fatick	3,79587733	2,94117647	93,2629462	S

Annexe 2 : Données chimiques des sols d'études

DESIGNATIONS	pH Eau	P/ASS ppm	C/TOTAL %	N/TOTAL %	MO %	C/N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
Ziguinchor	5,09	14,5952836	0,39205549	0,05349823	0,67590367	7,3283827	1,58800344	0,13663421	0,06640558
Ziguinchor	5,11	11,3757358	0,59023739	0,07225735	1,01756926	8,16854492	1,97040121	0,23586565	0,07980833
Ziguinchor	5,13	9,65864357	0,56007927	0,04265476	0,96557667	13,1305214	1,92877499	0,28732229	0,06881205
Sédhiou	5,12	8,1199448	0,58003672	0,0374795	0,99998331	15,4761048	1,685419	0,19741781	0,06345776
Sédhiou	5,02	10,0950665	0,91387081	0,05826033	1,57551327	15,6859884	1,6018819	0,29682759	0,06281182
Sédhiou	5,39	10,9728984	0,62593891	0,05654798	1,07911868	11,0691645	2,33463756	0,35992297	0,06996127
kolda	5,21	9,87560854	0,51744283	0,03435621	0,89207144	15,0611144	2,22300915	0,24992622	0,07422761
kolda	5,62	8,80009748	0,59023739	0,05361287	1,01756926	11,0092486	1,78090088	0,30169135	0,0807059
kolda	5,41	7,4615709	0,34466417	0,02918085	0,59420103	11,8113128	2,58976261	0,20816536	0,06633924
Fatick	6,19	9,40237226	0,68762279	0,1023933	1,18546169	6,71550552	0,88013361	0,47131571	0,22088214
Fatick	5,78	6,61648418	0,55009823	0,08213968	0,94836935	6,69710687	0,46382045	0,35010147	0,06783719
Fatick	6,23	28,2071168	0,63850688	0,09226649	1,10078585	6,92024654	0,56600374	0,55714875	0,10751445

Annexe 3 : Poster présenté au congrès AABNF

19th AABNF Congress. November 29 to December 1, 2022, Dakar, Senegal

Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of cashew seedlings *Anacardium occidentale* L. in a greenhouse conditions (Senegal)

Khêmes Marie Odile THIOCONE¹, Mohamed Mahamoud CHARAHABIL¹, Abdoulaye SOUMARE¹, Fatou NDOYE², Saliou FALL³, Valérie HOCHER³ et Amadou BA⁴
¹Assane Seck University of Ziguinchor, Sénégal, ²Sine Saloum University, Sénégal, ³Joint Microbiologie Laboratory, Sénégal, ⁴Antilles University, Guadeloupe, Fra
 *Presenting author : k.thiocone5328@zig.univ.sn

INTRODUCTION

The cashew nut (*Anacardium occidentale*, L.) is one of the export crops in Senegal. The economic potential of cashew nuts is nevertheless hampered in Senegal by the low overall yield of the crop (542 kg/ha) (Samb, 2019). But also by the use of unselected and low-yielding varieties, aging of plantations, abusive and uncontrolled exploitation of plantations, lack of appropriate silvicultural care (Ndiaye et al., 2017). Therefore, sustainable technologies are needed to increase its productivity. The use of AM fungi could be effective in the survival and development of plants in the nursery, but also in maximizing their ability to survive in the real environment. This study aims to contribute to the improvement of cashew production through a sustainable and environmentally solution such as arbuscular mycorrhizal fungi (AMF).



Figure 1 : Cashew plants (photo credit: Thiocone 2021)

MATERIALS AND METHODS

Stud site

The study was conducted in a greenhouse at the Commun Laboratory of Microbiology in Bel Air (Senegal)

Plant material and growing medium

The plant material used in this experiment consists of nuts from Fatick, Kolda, Ziguinchor and Sédiou. The growing medium consists of sterile soil taken from the locality of Sangalkam, Senegal.



Figure 2 : The different origins of cashew nuts study

Fungal material

The fungal material consists of arbuscular mycorrhizal fungi. These were obtained from the collection of the Commun Laboratory of Microbiology (LCM) in Senegal. The inocula used are:

- ♣ *Glomus aggregatum*, *Glomus fasciculatum*,
- ♣ *Glomus manihotis*, *Glomus verrucosum*,
- ♣ *Gigaspora rosea*, Mixture and control

The application rate was 20g per plant.

Experimental design

A completely randomized en bloc experimental design was used in this study. With seven treatments and six repetitions.

Parameters studied

The parameters studied are the height and diameter of the plants, the number of leaves and the chlorophyll content. At the end of the experiment the aerial and fresh and dry root biomass were determined. Root staining was performed to determine the rate and frequency of mycorrhization of the plants.

RESULTS

Analysis of Variance of the factors studied on growth parameters, chlorophyll content and mycorrhization intensity

Factors	Settings	Chlorophyll content	Height	Diameter	number of sheats	DRS	DAB	TDS	Mycorrhizal addition	Mycorrhization intensity
Origin	0.516 (NS)	< 0.0001***	0.303 (NS)	< 0.0001***	0.013*	< 0.0001***	< 0.0001***	0.000***	< 0.0001***	0.001**
Inoculum	0.132 (NS)	0.103 (NS)	0.289 (NS)	0.704 (NS)	0.000***	0.041*	0.001**	0.001**	< 0.0001***	< 0.0001***
Origin*Inoculum	0.084 (NS)	0.099 (NS)	0.823 (NS)	0.809 (NS)	0.010*	0.384 (NS)	0.124 (NS)	0.126 (NS)	< 0.0001***	< 0.0001***

NS: not significant; *significant; **Highly Significant; ***Very Highly Significant
 BRS : Dry Root Biomass ; BAR : Dry Aboveground Biomass and TDB : Total Dry Biomass

Effect of inoculation on growth parameters

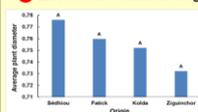


Figure 3 : Average diameter of plants according to origin

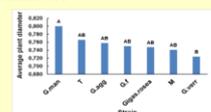


Figure 4: Average diameter of the plants according to the strain

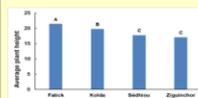


Figure 5: Average height of plants according to origin

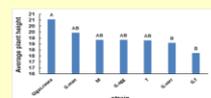


Figure 6 : Average height of plants depending on the strain

CONCLUSION

The results obtained showed that inoculation with AMF improve the growth of the cashew tree, in addition to the production of nuts. The inoculum mixture gave the best results on all the parameters studied.

BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- Ndiaye, S., Charahabil, M.M., Diatta, M., 2017. Characterization of cashew-based plantations (*Anacardium occidentale* L.) in Balantacounda: case of the communes of Kaour, Goudomp and Djibanar (Casamance/Senegal). *Eur. Sci. J.* 13, 242–257.
- Samb, C., Touré, M., Faye, E., Ba, H., Diallo, A., Badiane, S., Sanogo, D., 2019. Socio demographic, structural and agronomic characteristics of cashew plantations (*Anacardium occidentale* L.) in the Groundnut Basin and Casamance / Senegal. *J. Anim. Plant Sci.* 38, 6307–6325

LCM

Projet
FIRST

Annexe 4 : Communication orale présentée au Symposium of young Mycologists from Tropical Africa (Online)

Symposium of Young Mycologists from Tropical Africa
25 to 27 January 2024, Parakou, Benin

Density and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in *Anacardium occidentale* L. plantations in Senegal

Présenté par :
Mlle Khêmes Marie Odile THIOÛNE
Doctorante au Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie
de l'Université Assane Seck de Ziguinchor (Sénégal)

Sous la Direction de : Pr Mohamed Mahamoud CHARAHABIL, Maître de conférences CAMES

Annexe 5 : Article publié

Vol. 17(9), pp. 221-229, September 2023
DOI: 10.5897/AJMR2023.9712
Article Number: 8141F5671263
ISSN: 1996-0808
Copyright © 2023
Author(s) retain the copyright of this article
<http://www.academicjournals.org/AJMR>

 **ACADEMIC JOURNALS**
Founded 2006

African Journal of Microbiology Research

Full Length Research Paper

Density and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in *Anacardium occidentale* L. plantations in Senegal

Khêmes Marie Odile THIOÛNE^{1*}, Abdoulaye SOUMARE¹,
Mohamed Mahamoud CHARAHABIL¹, Landing NDIAYE¹, Fatou NDOYE², Saliou FALL³,
Valérie HOCHER⁴ and B. A. AMADOU⁵

¹Department of Agroforestry, Assane Seck University of Ziguinchor, Senegal.

²Agronomy and Plant Production Department, University of Sine Saloum of Kaolack El Hadj Ibrahima Niass, Senegal.

³Joint Microbiology Laboratory, Senegal.

⁴Research Institute for Development, Montpellier, France.

⁵University of the West Indies, Guadeloupe, France.

Received 4 July, 2023; Accepted 4 September, 2023

Cashew nut cultivation plays an important socio-economic role in Senegal. However, it suffers from several problems, including declining soil fertility which leads to low productivity. To overcome these constraints, the use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) could be a sustainable alternative. However, the positive effects of AMFs may depend on their infectious potential, density, and diversity. So far, little attention has been given to exploring these aspects in cashew plantations. The proposal of this study is to determine the infectious propagules, density and diversity of AMF spores in cashew agro-systems. Soil samples were collected from four cashew production areas in Senegal (Ziguinchor, Sédiou, Kolda and Fatick). The soil samples were previously treated by wet sieving and decantation technique and the spores were isolated by centrifugation; thereafter, a morphological identification of the extracted spores was carried out. To compare AMF propagule numbers between sites, a most probable number (MPN) bioassay was performed under greenhouse conditions using *Zea mays* as the host plant. The average AMF spore density was significantly higher in Ziguinchor (510 spores/100 g soil), Sédiou (586 spores/100 g soil), and Fatick (445 spores/100 g soil) compared to Kolda (211 spores/100 g soil). However, no significant difference was noted between Ziguinchor, Sédiou, and Fatick. Spore and propagule densities show opposite results, MPN was high in sites with low spore density. The identification of the spores showed 6 genera belonging to *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Entrophospora*, and *Rhizoglyphus*. Identified AMFs could be isolated and multiplied to produce bioinoculants for cashew trees.

Key words: Abundance, Arbuscular mycorrhizal fungi, morphological diversity, most probable number, *Anacardium occidentale*, Senegal.