

---

## **Contribution à la mise en place, à la vulgarisation et à l'utilisation d'un inoculum à base de champignons mycorhiziens au sein de groupements de femmes au Sénégal**

**Auteur :** Fadel, Fatme

**Promoteur(s) :** 879

**Faculté :** Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

**Diplôme :** Master en bioingénieur : sciences agronomiques, à finalité spécialisée

**Année académique :** 2021-2022

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/16574>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

# CONTRIBUTION À LA MISE EN PLACE, À LA VULGARISATION ET À L'UTILISATION D'UN INOCULUM À BASE DE CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS AU SEIN DE GROUPEMENTS DE FEMMES AU SÉNÉGAL

FATME FADEL

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
MASTER BIOINGÉNIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES

ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022

PROMOTEUR : LUDIVINE LASSOIS

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

**CONTRIBUTION À LA MISE EN PLACE, À LA VULGARISATION ET À  
L'UTILISATION D'UN INOCULUM À BASE DE CHAMPIGNONS  
MYCORHIZIENS AU SEIN DE GROUPEMENTS DE FEMMES AU  
SÉNÉGAL**

**FATME FADEL**

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
MASTER BIOINGÉNIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022**

**PROMOTEUR : LUDIVINE LASSOIS**



## Remerciements

Premièrement, je remercie ma promotrice, **Madame Ludivine Lassois**, pour sa confiance accordée, son encadrement et sa disponibilité.

Deuxièmement, je tiens à remercier mon maître de stage **Madame Tatiana Krasova Wade** et mon co-maître de stage **Madame Fatou Diouf** pour leur disponibilité, aide et réponses aux questions sur le terrain dès que le besoin se présentait.

Troisièmement, un grand merci à mon professeur de statistique **Monsieur Yves Brostaux** car, sans lui, la partie statistique n'aurait pas été une mince affaire.

Troisièmement, je voudrais aussi remercier mes collègues de terrain **Monsieur Mbay Diouf**, **Alimatou Thiaw** et **Fatoumata Ly**, qui ont participé activement à la prise de donnée.

Je ne peux omettre ma très chère famille d'accueil au Sénégal, **La famille Diouf**. Leur accueil chaleureux m'a permis de m'adapter très vite et de me sentir chez moi.

Un remerciement très particulier à **Monsieur Werner Couttenier**, mon ancien professeur de Ciney. Sans ses encouragements, je n'aurais jamais entrepris ce master.

Le voyage réalisé dans le cadre du présent mémoire a été rendu possible grâce au soutien financier de **L'ARES**, l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur de la Fédération Wallonie-Bruxelles, Belgique, dans le cadre de sa politique de Coopération au développement. Je les remercie infiniment pour cet octroi de bourse de voyage.

Enfin, un grand merci à **Ma Famille** et ma petite **Mawada** qui m'ont soutenue tout au long de ce parcours difficile sans jamais perdre la foi en moi.



## Résumé

Dans un contexte climatique difficile, les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMAs) paraissent être une des solutions pour l'amélioration de la croissance et des rendements des cultures. La partie expérimentale de ce mémoire a eu lieu au Sénégal et a duré 3 mois. Le mémoire s'est fait en 3 parties ayant pour but, premièrement, d'optimiser le protocole de production locale d'un inoculum à base de CMAs (*Glomus aggregatum*, *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum* et *Glomus intraradices*). Pour ce faire, une multiplication de ces 4 champignons a été testée sur maïs (*Zea mays* L.) et sur sorgho (*Sorghum bicolor* L.) dans une serre sur le site de production du village de Ngueye Ngueye. Les observations réalisées étaient la fréquence et l'intensité de mycorhization et le nombre de spores. La deuxième partie du mémoire a consisté à tester l'efficacité de l'inoculum produit en serre sur 4 cultures : le poivron (*Capsicum annuum* L.), la tomate (*Solanum lycopersicum* L.), l'aubergine douce (*Solanum melongena* L.) et l'aubergine amère (*Solanum aethiopicum* L.) en champ. Les observations faites étaient la hauteur, le rendement et le poids de matière sèche. La dernière partie des travaux était destinée à sensibiliser et à former les agriculteurs à la production ainsi qu'à l'utilisation de cet inoculum. Ce qui s'est fait au travers de séances de sensibilisation et de formation par la démonstration sur le terrain. Pour la première partie, seule l'intensité sur le maïs a montré des résultats significatifs par rapport au témoin. Ensuite, pour la seconde partie, le facteur hauteur uniquement a montré des résultats significatifs par rapport au témoin pour les différentes spéculations selon la parcelle utilisée.

## Mots clés

Champignons mycorhiziens à arbuscules – *Zea mays* L. - *Sorghum bicolor* L. - *Capsicum annuum* L. - *Solanum lycopersicum* L. - *Solanum melongena* L. - *Solanum aethiopicum* L. – Sénégal - Inoculum



## Abstract

In a difficult climatic context, arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) appear to be one of the solutions for improving crop growth and yields. The experimental part of this thesis took place in Senegal and lasted for 3 months. The first part aimed at optimising the protocol for local production of an inoculum based on AMF (*Glomus aggregatum*, *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum* and *Glomus intraradices*). For this purpose, a multiplication of these 4 fungi was tested on maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in a greenhouse on the production site in Ngueye Ngueye village. The observations made were the frequency and intensity of mycorrhization and the number of spores. The second part of the thesis consisted of testing the efficiency of the inoculum produced in the greenhouse on 4 crops: pepper (*Capsicum annum* L.), tomato (*Solanum lycopersicum* L.), sweet aubergine (*Solanum melongena* L.) and bitter aubergine (*Solanum aethiopicum* L.) in the field. The observations made were height, yield and dry matter weight. The last part aimed to raise awareness and train farmers on the production and use of this inoculum. This was done through sensitisation and training sessions by means of field demonstration. For the first part only the intensity on maize showed significant results compared to the control. Then, the second part, the height factor only showed significant results compared to the control in every culture.

## Key words

Arbuscular mycorrhizal fungi – *Zea mays* L. - *Sorghum bicolor* L. - *Capsicum annum* L. - *Solanum lycopersicum* L - *Solanum melongena* L. - *Solanum aethiopicum* L. – Senegal - Inoculum



## Liste des abréviations

ANOVA = Analyse De la Variance (Analysis Of Variance)

CMAs = Champignons Mycorhiziens à Arbuscules (AMF = Arbuscular Mycorrhizal Fungi)

CNCFTI = Comité National de Concentration de la Filière Tomate Industrielle

DyTAES = Dynamique pour la Transition AgroÉcologique au Sénégal

GLM = Modèle Linéaire Généralisé (Generalized Linear Models)

IMS = Société Internationale de la Mycorhize (International Mycorrhiza society)

ICOM = Conférence International sur la Mycorhize (International Conference on Mycorrhiza)

IRD = Institut de Recherche pour le Développement

ISRA = Institut Sénégalais de recherche agricole

LCM = Laboratoire de Chimie Moléculaire

PSE = Plan Sénégal Emergent

s.d = sans date

UCAD = Université Cheikh Anta Diop de Dakar



## Table des matières

I.	Introduction.....	1
II.	Partie théorique .....	2
1	Présentation du Sénégal.....	2
1.1	Généralités .....	2
1.2	Climat.....	2
1.3	Sol .....	3
2	Contexte .....	3
3	Description des cultures céréalières .....	4
3.1	Mil.....	5
3.1.1	Description .....	5
3.1.2	Implantation .....	5
3.1.3	Durée du cycle .....	6
3.1.4	Commercialisation.....	6
3.2	Maïs .....	6
3.2.1	Description .....	6
3.2.2	Implantation .....	7
3.2.3	Durée du cycle .....	7
3.2.4	Commercialisation.....	7
3.3	Sorgho.....	7
3.3.1	Description .....	7
3.3.2	Implantation .....	8
3.3.3	Durée du cycle .....	8
3.3.4	Commercialisation.....	8
4	Description des cultures maraichères .....	8
4.1	Poivron .....	8
4.1.1	Description .....	8
4.1.2	Implantation .....	9
4.1.3	Durée du cycle .....	9
4.1.4	Commercialisation.....	9
4.2	Tomates.....	9
4.2.1	Description .....	9
4.2.2	Implantation .....	10
4.2.3	Durée du cycle .....	10
4.2.4	Commercialisation.....	10

4.3	Aubergine douce .....	10
4.3.1	Description .....	10
4.3.2	Implantation .....	10
4.3.3	Durée du cycle .....	11
4.3.4	Commercialisation.....	11
4.4	Aubergine amère.....	11
4.4.1	Description .....	11
4.4.2	Implantation .....	11
4.4.3	Durée du cycle .....	11
4.4.4	Commercialisation.....	12
5	Mycorhization.....	12
5.1	Mycorhize .....	12
5.1.1	Définition .....	12
5.1.2	Rôle et fonctionnement .....	12
5.1.3	Types de mycorhizes .....	13
5.2	Production d'inoculum .....	15
5.3	La symbiose mycorhizienne aujourd'hui.....	15
III.	Partie expérimentale .....	16
1	Objectif du travail.....	16
2	Cadre et contexte de travail .....	16
3	Identification en serre du système « plante hôte/champignon » le plus productif en inoculum	17
3.1	Matériel .....	17
3.1.1	Semences.....	17
3.1.2	Inoculum starter .....	18
3.1.3	La serre et les bacs de production d'inoculum.....	18
3.2	Méthode .....	19
3.2.1	Solarisation .....	19
3.2.2	Arrosage, semis et inoculation .....	19
3.2.3	Dispositif expérimental .....	19
3.2.4	Observation .....	20
4	Evaluation au champ de l'efficacité de l'inoculum produit sur différentes spéculations maraîchères.....	21
4.1	Matériel .....	21
4.2	Méthode.....	22
4.2.1	Préparation des parcelles.....	22
4.2.2	Arrosage, repiquage et inoculation.....	24

4.2.3	Dispositif expérimental .....	26
4.2.4	Observations.....	28
5	Traitements des données .....	29
6	Identification en serre du système « plante hôte/champignon » le plus productif en inoculum	29
6.1	Résultats et discussion du sorgho .....	29
6.2	Résultats du maïs.....	30
6.2.1	Nombre de spores.....	31
6.2.2	Fréquence de mycorhization.....	32
6.2.3	Intensité de mycorhization.....	32
6.3	Discussion du maïs .....	34
6.3.1	Nombre de spores.....	34
6.3.2	Fréquence de mycorhization.....	34
6.3.3	Intensité de mycorhization.....	34
7	Evaluation au champ de l'efficacité de l'inoculum produit sur différentes spéculations maraichères.....	35
7.1	Résultats .....	35
7.1.1	Poids de matière sèche du poivron.....	35
7.1.2	Rendement du poivron.....	35
7.1.3	Hauteur des différentes spéculations .....	35
7.1.4	Récapitulatif hauteurs .....	40
7.2	Discussion .....	43
7.2.1	Poids de matière sèche et rendement .....	43
7.2.2	Hauteurs des différentes spéculations.....	43
7.3	Obstacles sur le terrain.....	44
IV.	Partie sociale .....	44
1	Sensibilisation et formation .....	44
V.	Conclusion et perspectives.....	46
VI.	Contribution personnelle .....	47
VII.	Bibliographie.....	48
VIII.	Annexes .....	54
	Annexe 1.....	54
	Annexe 2.....	54
	Annexe 3.....	54

## Table des figures

Figure 1 : Carte du Sénégal (Ministère de l'Europe et des Affaires Etrangères, 2016).....	2
Figure 2 : Zones climatiques du Sénégal (Dardel, 2014) .....	3
Figure 3 : Production céréalière au Sénégal en 2017 et 2018 (ANSD, 2018) .....	4
Figure 4 : Principales zones de culture du Sénégal (Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, 2001 ; Ndao, 2021) .....	5
Figure 5 : Le mil (Larousse, s.d.) .....	5
Figure 6 : Phases de développement du mil (Eldin, 1990) .....	6
Figure 7 : Plant de maïs (Encyclopédie de l'environnement, 2022) .....	6
Figure 8 : Cycle de développement du maïs (SEMAE, s.d.) .....	7
Figure 9 : Plant de sorgho (Chantereau et al., 2013).....	8
Figure 10: Cycle du sorgho (Chantereau et al., 2013). .....	8
Figure 11 : Plant de poivron (ConsoGlobe, 2019) .....	9
Figure 12: Cycle de développement du poivron (ConsoGlobe, 2019) .....	9
Figure 13 : plant de tomate (Jadoule, 2021) .....	10
Figure 14 : Plant d'aubergine douce (Hodgson, 2020) .....	11
Figure 15 : les différentes étapes de l'installation d'une mycorhize à arbuscules. A=phase asymbiotique. B=phase pré-symbiotique. C-F =phase symbiotique (Forges, 2015) .....	13
Figure 16: Les différents types de mycorhizes (Ndonga, 2018) .....	14
Figure 17 : Lieux des réunions depuis 1996 (Mycoagra, s.d.) .....	15
Figure 18 : Situation de la zone d'étude au Sénégal. Le cercle rouge indique la localisation du village de Ngye (Diop et Bacci, 2016) .....	17
Figure 19 : Distance entre NueyeNgye et la première route goudronnée .....	17
Figure 20 : Inoculum starter .....	18
Figure 21 : Serre avant le début de l'expérimentation .....	18
Figure 22 : Installation des plaques en plastique .....	19
Figure 23 : Semences de maïs .....	19
Figure 24 : semis du maïs .....	19
Figure 25 : Dispositif expérimental .....	20
Figure 26 : Récolte des échantillons de racines de sorgho et de maïs.....	21
Figure 27 : Racines utilisées pour les observations.....	21
Figure 28 : Plan d'une planche individuelle.....	23
Figure 29 : A=mesure sur sol sec, B=formation de bordure en relief sur les bords de chaque planche, C=décompactage à l'aide d'une fourche ou d'une daba, D=arrosage des planches. ....	24
Figure 30 : Femme portant la bassine d'eau sur la tête.....	24
Figure 31 : Bouchon d'inoculum.....	25
Figure 32 : A=matérialisation des poquets, B=ajout de l'inoculum, C=repiquage du plant, D=appuyer le sol et l'arroser.....	26
Figure 33 : A= étiquettes des différents traitements, B=Parcelle 1 à Tonkgol 1, C=parcelle 2 à Tongkol 2, D=parcelle 3 à Pintok, E= parcelle 4 à Darou-sème.....	28
Figure 34 : Poivron récolté .....	28
Figure 35 : Intensité de mycorhization en fonction du traitement (X=moyenne, a et b = tous les résultats avec des lettres différentes sont significativement différents, S1 = souche 1 (Glomus fasciculatum), S2 = souche 2 (Glomus aggregatum), S3 = souche 3 (Rhizophagus irregularis), S4 = souche 4 (Glomus mosseae), T = coque d'arachide sans inoculation).....	33
Figure 36 : Hauteurs des plants de poivron, tomate, aubergine douce et amère sur les périmètres 1, 2, 3 et 4 en fonction des souches (lettres (a, b, c) indique s'il y a une différence significative entre les	

souches, S 1(Glomus intraradices), S2 (Glomus aggregatum), S3 (Glomus mosseae), S4 (Glomus fasciculatum), SM (Souches mélangées), T+ (Témoin avec coque d'arachide uniquement), T- (Témoin))	
.....	42
Figure 37 : Explication de l'application de l'inoculum dans les poquets.....	45
Figure 38 : Mise en place des planches sur l'un des 4 périmètres.....	45

## Table des tableaux

Tableau 1A : Données brutes ; Tableau 1B : Transformation des données brutes en données binaires 1=présence, 0=absence, B=bloc, ID=identifiant (traitements), S1 = souche 1 (Glomus fasciculatum), S2 = souche 2 (Glomus aggregatum), S3 = souche 3 (Rhizophagus irregularis), S4 = souche 4 (Glomus mosseae), T = coque d'arachide sans inoculation.....	30
Tableau 2 : Test Exact de Fisher .....	30
Tableau 3 : Résultats d'analyse de laboratoire sur les échantillons de maïs (=bloc, ID=identifiant (traitements), S1 = souche 1 (Glomus fasciculatum), S2 = souche 2 (Glomus aggregatum), S3 = souche 3 (Rhizophagus irregularis), S4 = souche 4 (Glomus mosseae), T = coque d'arachide sans inoculation .....	31
Tableau 4 : ANOVA 2 pour le nombre de spores pour le maïs.....	31
Tableau 5 : Moyennes et écart type du nombre de spores par 100 g d'inoculum (les traitements ayant des lettres identiques ne sont pas significativement différents les uns des autres) .....	32
Tableau 6 : ANOVA 2 pour la fréquence de mycorhization du maïs .....	32
Tableau 7 : Moyennes des fréquences de mycorhization (%) et les écarts types (les traitements ayant des lettres identiques ne sont pas significativement différents les uns des autres) .....	32
Tableau 8 : Résultats de l'ANOVA 2 sur l'intensité de mycorhization.....	33
Tableau 9 : Moyennes des intensités de mycorhization (%) et les écarts types (les traitements ayant des lettres identiques ne sont pas significativement différents les uns des autres) .....	33
Tableau 10 : ANOVA 2 pour le poids de matière sèche du poivron.....	35
Tableau 11 : ANOVA 2 pour le rendement du poivron .....	35
Tableau 12 : Moyennes des hauteurs en cm (A=poivron, B=tomate, C=aubergine douce, D=aubergine amère) .....	36
Tableau 13 : GLM sur les données de hauteurs .....	37
Tableau 14 : ANOVA 2 sur les hauteurs du poivron .....	37
Tableau 15 : ANOVA 1 + Tests de Dunnett sur les différentes parcelles (poivron), S2=Glomus aggregatum, T= témoin, SM=souches mélangées .....	37
Tableau 16 : ANOVA 2 sur les hauteurs de la tomate .....	38
Tableau 17 : ANOVA 1 + Tests de Dunnett sur les différentes parcelles (tomate) .....	38
Tableau 18 : ANOVA 2 sur les hauteurs de l'aubergine douce.....	38
Tableau 19 : ANOVA 1 + Tests de Dunnett sur les différentes parcelles (aubergine douce), SM=souches mélangées, T+=témoin avec coque d'arachide uniquement, S3=Glomus mosseae.....	39
Tableau 20 : ANOVA 2 sur les hauteurs de la spéculiation aubergine amère.....	39
Tableau 21 : ANOVA 1 + Tests de Dunnett sur les différentes parcelles (aubergine amère), T+=témoin avec coque d'arachide uniquement, SM=souches mélangées .....	39



## I. Introduction

Force est de constater que les changements climatiques affectent le monde entier. Les chercheurs ne cessent de tenter d'acquiescer de nouvelles techniques et technologies qui pourraient améliorer l'avenir de notre planète. Les recherches ont lieu dans tous les secteurs, y compris celui de l'agriculture.

Les changements climatiques se font ressentir de façons très différentes à travers les continents. Notamment sur le continent africain, une élévation des températures moyennes est observée, entraînant une augmentation en fréquence et en intensité des événements extrêmes (Kabbej, 2021).

Au Sénégal, cette élévation des températures a été très néfaste au cours des 30 dernières années. Celle-ci a causé des sécheresses, des inondations et des précipitations plus intenses et plus courtes (Thierno Gaye et al., 2015). Ainsi, les producteurs se retrouvent face à des situations difficiles qu'ils n'ont jamais rencontrées auparavant. Les sols se dégradent et s'appauvrissent et les saisons sèches et pluvieuses deviennent de moins en moins régulières. De ce fait, les rendements diminuent et agrandissent l'insécurité alimentaire.

C'est pourquoi des solutions doivent être établies pour remédier à cette baisse de rendement. Les premières solutions mises en place sont souvent les intrants chimiques. Malheureusement, l'utilisation excessive et inadéquate de ceux-ci ne fait qu'aggraver la situation. Une autre solution serait d'augmenter l'utilisation de la matière organique pour enrichir le sol. Seulement, au Sénégal, les agriculteurs ont très peu tendance à utiliser la matière organique ou alors ils l'utilisent sans la composter. En conséquence, l'apparition d'agents pathogènes et de mauvaises herbes dans les cultures est inévitable.

Dans l'intention d'augmenter les rendements au Sénégal, une des solutions qui a été proposée est l'emploi d'inoculum. Grâce à leur mycélium, ceux-ci favorisent la nutrition minérale des plantes et permettent aussi d'augmenter les rendements obtenus. Pour ce faire, un projet de production de cet inoculum par les agriculteurs dans une zone agricole, Synergie, a été mis en place sous l'impulsion des chercheurs et appuyé par l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur de Belgique (ARES) pour tester l'effet des champignons mycorhiziens sur la croissance et le rendement des plantes.

## II. Partie théorique

### 1 Présentation du Sénégal

#### 1.1 Généralités

Le Sénégal est un pays ouest africain dont la capitale est Dakar. Il a une superficie de 196 712 Km<sup>2</sup>, avec une population de 17 738 795 habitants et une densité de 90 habitants par km<sup>2</sup> (ANSD, 2022). Le fait que les jeunes de 18 ans et moins représente 48% de la population mène à considérer que la population est jeune. (Thioune et al., 2019).

Le territoire sénégalais (Figure 1) est limité au Sud par la Guinée et la Guinée Bissau, à l'Est par le Mali et au Nord par la Mauritanie. À l'intérieur du pays se trouve enclavée la République de la Gambie. À l'Ouest du pays se trouve l'océan Atlantique Le relief du pays est majoritairement plat (Sénégal Export, s.d.)



Figure 1 : Carte du Sénégal (Ministère de l'Europe et des Affaires Etrangères, 2016)

#### 1.2 Climat

Le Sénégal est situé en Afrique subsaharienne et se caractérise par un climat sahélien au nord, sahelo soudanien au centre et soudano-sahélien au sud (Figure 2). Celui-ci est tropical au sud et semi-désertique au nord. Il y a 2 saisons (Villiers, 1963) : la saison sèche de novembre à mi-juin et la saison pluvieuse (aussi appelée l'hivernage) de mi-juin à octobre. Un gradient décroissant du sud (1200 mm) au nord (300 mm) du pays est suivi par la pluviométrie annuelle (Thioune et al., 2019).

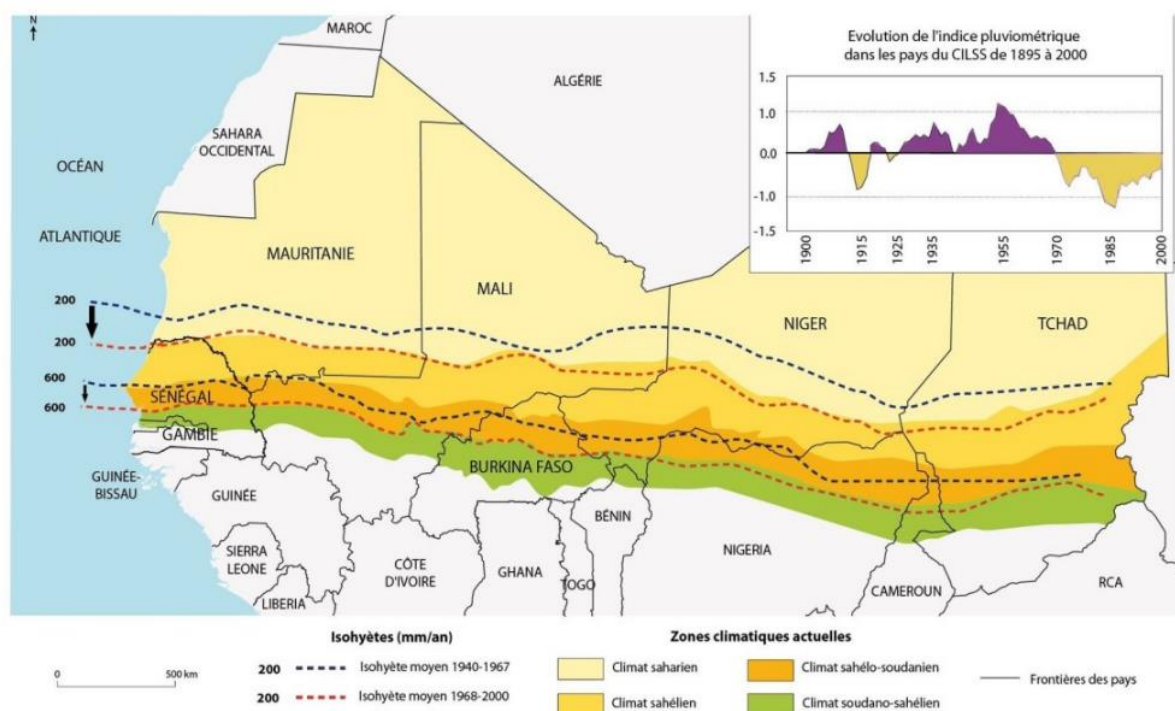


Figure 2 : Zones climatiques du Sénégal (Dardel, 2014)

### 1.3 Sol

Il y a différents types de sols au Sénégal. Cependant, ils sont majoritairement ferrugineux tropicaux. Ceux-ci se caractérisent par une proportion très élevée de sable. Ce sont des sols dont la teneur en carbone, azote totale, et en bases échangeables est très faible. Ils se caractérisent aussi par un pH acide se situant entre 5,4 et 6,1 et un faible pouvoir tampon (UPA développement international, 2017).

Les essais de ce mémoire ont été réalisés dans une zone où les sols sont de type ferrugineux tropicaux.

## 2 Contexte

En 2017, au Sénégal, 17% des enfants de moins de 5 ans ont souffert de retards de croissance liés à la malnutrition (Ministère de l'économie, des finances et du plan, 2018). La dernière enquête nationale qui remonte à 2018 évalue le taux de pauvreté monétaire<sup>1</sup> à 37,8 %. Une différence marquée entre la pauvreté en zones rurales (53,6%) et en zones urbaines (19,8%) est constatée (ANSD, 2019).

Au Sénégal, 77% de la population active travaille dans l'agriculture de type familial, ce qui fait d'elle un pilier de la sécurité alimentaire, mais aussi le fournisseur majeur de travail en milieu rural (Ministère de l'économie, des finances et du plan, 2018). Comme mentionné précédemment, la pauvreté est beaucoup plus présente dans les zones rurales. Une des plus grosses zones de production agricoles du pays est le bassin arachidier. Celui-ci regroupe 45% de la population sénégalaise (ANSD, 2019). Les exploitations agricoles du bassin arachidier ont une superficie comprise entre 1 et 5 hectares. Malheureusement, les efforts des agriculteurs ne sont pas suffisants pour obtenir une production correcte afin de répondre à leurs besoins et assurer des revenus stables. De nombreux défis affectent cette région tels que le changement climatique, la dégradation des sols, l'augmentation démographique, la perte de biodiversité, ... La situation devient très à risque pour les familles dépendantes des récoltes (Sall, 2015).

<sup>1</sup> « Le taux de pauvreté monétaire correspond à la proportion d'individus (ou de ménages) étant en situation de pauvreté monétaire » (Insee, n.d)

## Partie théorique

C'est pourquoi, pour parvenir à « Un Sénégal émergent en 2035 avec une société solidaire dans un État de droit » le pays a instauré depuis 2014 le Plan Sénégal Emergent (PSE). C'est le référentiel de sa politique économique, sociale et environnementale sur le moyen et le long terme. Ce grand pas politique a permis d'amorcer la mise en place d'un accompagnement, dont des projets soutenant la transition agroécologique (République du Sénégal, 2018).

Grâce à son PSE, la politique sénégalaise a fait de son pays un modèle en matière d'agroécologie en Afrique et est reconnu internationalement depuis plusieurs années. En effet, en 2015, la FAO a choisi le Sénégal comme pays pilote de l'agroécologie. Cependant, la dynamique restait trop faible. Ce qui a conduit, en 2019, à la création de l'alliance : « Dynamique sur la Transition AgroEcologique au Sénégal » (DyTAES). Le but de cette alliance est de mener un dialogue politique d'une ampleur nationale et d'accompagner l'état dans la construction d'une politique de transition agricole (DyTAES, 2020).

### 3 Description des cultures céréalières

Les céréales les plus cultivées au Sénégal sont le riz paddy, le mil, le maïs, le sorgho (Figure 3).

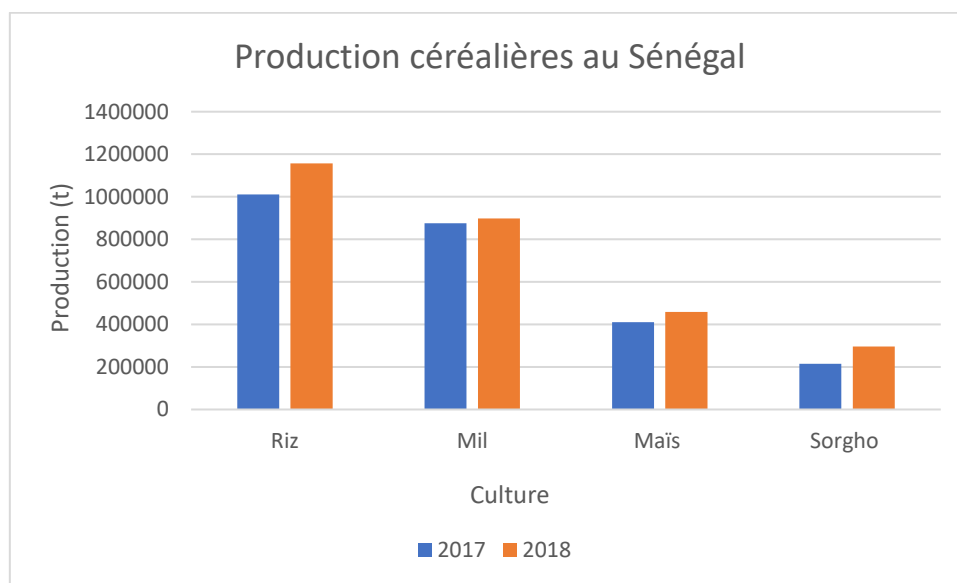


Figure 3 : Production céréalière au Sénégal en 2017 et 2018 (ANSD, 2018)

Le riz ne sera pas traité dans ce travail car celui-ci se situe hors du bassin arachidier où le projet a eu lieu (Figure 4).



Figure 4 : Principales zones de culture du Sénégal (Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, 2001 ; Ndao, 2021)

### 3.1 Mil

#### 3.1.1 Description

L'origine domestique du mil (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br) est l'Afrique Occidentale tropicale dans le troisième millénaire avant J.C. Le mil a ensuite été transporté en Afrique Orientale, en Afrique Centrale et en Inde il y a 2000 ans (Kadri et al., 2019).

Le mil (Figure 5) est une plante monocotylédone de la famille des poacées. C'est une plante en C4, c'est-à-dire qu'elle va avoir un rendement énergétique beaucoup plus élevée que les plantes en C3 dans des conditions de climat tropical. Ceci est dû à l'absorption plus complète de CO<sub>2</sub> par celles-ci (Hiltbrunner et al., 2012). C'est la 7<sup>ème</sup> céréale la plus importante au monde (Kadri et al., 2019) et la deuxième la plus produite dans le bassin arachidier du Sénégal après le riz paddy (ANSD, 2018).

Le mil est une plante qui peut mesurer entre 1,5 et 4 m de hauteur. C'est une céréale à port dressé ayant des tiges épaisses composées de nœud et d'entre nœuds (pleins). Le mil est capable de donner 1 à 7 talles. Les feuilles s'insèrent au niveau des nœuds et sont alternes. Son système racinaire est de type fasciculé et peut atteindre une profondeur de 3 m (Kadri et al., 2019).



Figure 5 : Le mil (Larousse, s.d.)

#### 3.1.2 Implantation

La culture du mil se fait dans des sols légers, sablo-limoneux ou sablonneux (Ouendeba et al., 2011) et bien drainés avec un pH faible. C'est une culture assez tolérante à la sécheresse et au manque de fertilité des sols (Kadri et al., 2019). Le rendement moyen du mil est de 640 Kg/ha (Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, 2001).

L'écartement entre les lignes ou les plants est de 1 ou 0,9 m (Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, 2001) La profondeur de semis utilisée est de 1-2 cm (Arvalis, s.d.).

## Partie théorique

Le mil est cultivé en période d'hivernage au Sénégal.

### 3.1.3 Durée du cycle

La durée du cycle du mil peut varier entre 75 à 95 jours selon la variété utilisée (Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, 2001). Le cycle est divisé en trois phases (Figure 6) :

1. Phase végétative
2. Phase reproductive
3. Phase de maturation

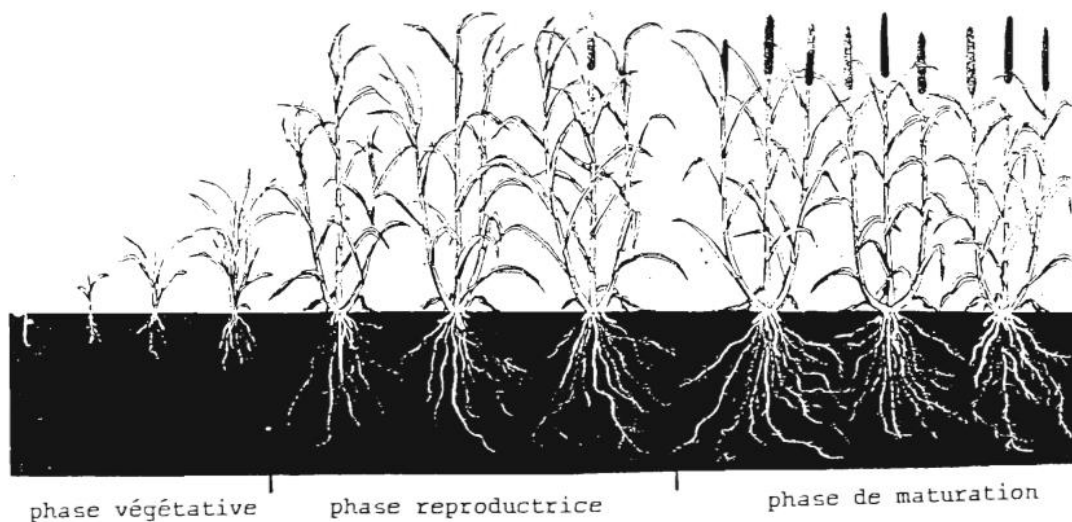


Figure 6 : Phases de développement du mil (Eldin, 1990)

### 3.1.4 Commercialisation

La consommation par tête du mil (entre 97,7 et 102 Kg/tête/an) est la plus élevée en zone rurale, plus précisément dans les régions de Kaolack, Kaffrine et Thiès. Le prix moyen national du mil était de 268 FCFA<sup>2</sup>/Kg en 2021. Ce prix a très fortement augmenté entre 2010 et 2021. Les entreprises de transformation primaire et secondaire du mil se situent essentiellement à Dakar et Thiès, d'où la forte demande en mil dans ces régions (Barro Samb, 2021).

## 3.2 Maïs

### 3.2.1 Description

L'origine domestique du maïs (*Zea mays* L.) est le Mexique. Celui-ci était cultivé depuis probablement 3000 avant J.C. Ensuite, il s'est propagé à l'extérieur de l'Amérique Centrale et du Sud avec l'arrivée des colons européens (Bousquet, 2021).

Le maïs (Figure 7) est une plante monocotylédone de la famille des Poacées. C'est une plante monoïque en C4. C'est la céréale la plus produite au monde (1187,8 millions de tonnes). Le blé et le riz viennent après, avec respectivement 770,8 millions de tonnes et 519,5 millions de tonnes (Statista, 2022).

Un plant de maïs est constitué d'une seule tige. Un empilement de nœuds et d'entrenœuds la compose. Les feuilles ainsi qu'un bourgeon axillaire sont insérés au niveau de chaque nœud. Les feuilles sont de grande taille et leur nombre se situe entre 15 et 20, réparties de manière alternative d'un côté et de l'autre de la tige (SEMAE, s.d.).

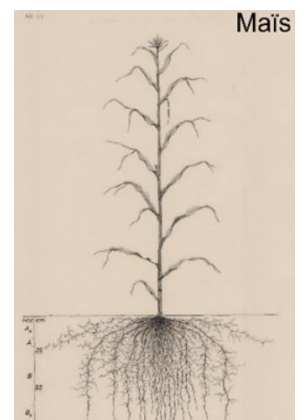


Figure 7 : Plant de maïs (Encyclopédie de l'environnement, 2022)

<sup>2</sup> 1 euro = 655,957FCFA (Capital, 2022)

Comme pour le mil, le maïs a un système racinaire fasciculé. Les racines se développent à la base de la tige et forment un réseau permettant la fixation de la plante dans les couches superficielles du sol (SEMAE, s.d.).

### 3.2.2 Implantation

Le sol dans lequel le maïs sera implanté doit être meuble, profond, humide et bien drainé. Une profondeur de semis de 3 cm est préconisée. Attention à ne pas semer moins profond car cela expose la graine aux attaques d'oiseaux (Zohoungbogbo et al., 2020).

La culture de maïs se pratique avec divers écartements allant de 60 à 80 cm entre les rangs et de 25 à 40 cm entre les plants (Thomas, 2012).

Le maïs sera également cultivé en période d'hivernage au Sénégal.

### 3.2.3 Durée du cycle

La durée du cycle du maïs (Figure 8) en milieu tropical est de 80 à 100 jours selon les variétés utilisées (Fall et Lo, 2009).

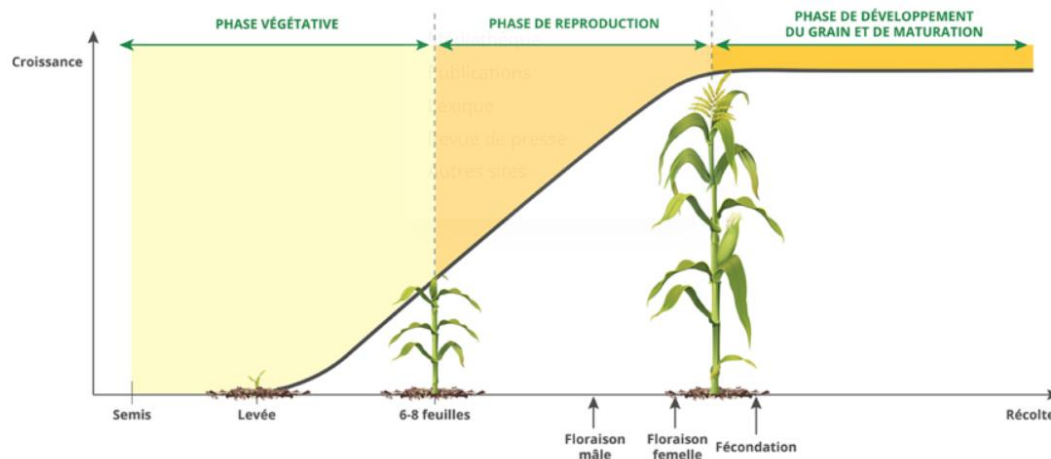


Figure 8 : Cycle de développement du maïs (SEMAE, s.d.)

### 3.2.4 Commercialisation

Malgré une hausse en production de 238 000 t en 2013 à 761 883 t en 2020 l'offre reste insuffisante pour répondre à la demande au Sénégal (Barro Samb, 2021).

Le rendement de la culture en moyenne en Afrique de l'Ouest est de l'ordre de 1,7 t/ha. Au Sénégal, le rendement se situe entre 2 et 4 t/ha selon la variété utilisée (Fall et Lo, 2009).

Le prix du kilogramme de maïs ne cesse d'augmenter et est, par exemple, passé de 157 FCFA en 2010 à 213 FCFA en 2021 dans la ville de Kaolack (Barro Samb, 2021).

## 3.3 Sorgho

### 3.3.1 Description

L'origine de la domestication du sorgho commun (*Sorghum bicolor* L.) serait probablement en Nubie, région Soudanaise entre 6000 à 4000 avant J.C. (Chantereau et al., 2013).

Le sorgho est une plante monocotylédone appartenant à la famille des Poacées (Chantereau et al., 2013). Comme le maïs et le sorgho c'est une plante monoïque en C4.

Le sorgho (Figure 9) est une céréale ayant une tige principale et qui peut avoir 5 à 6 tiges secondaires, autrement dit des talles. Chaque tige est composée d'une série de phytomères. Un phytomère est

## Partie théorique

constitué d'une feuille, d'un nœud et d'un entre nœud. C'est au niveau des nœuds que les feuilles apparaîtront (Chantereau et al., 2013). Le système racinaire du sorgho est fasciculaire (Cornec et al., 2010).

### 3.3.2 Implantation

Le sorgho se développe davantage dans un sol chaud et demande une préparation fine en surface. Une profondeur de semis de 2 à 3 cm est conseillée en se basant sur la taille de la graine (CIPF, 2021).

Des écartements entre les rangs de 60 à 80 cm et de 50 cm entre les plants sont à respecter (Ouendeba, 2011).

Au Sénégal, le sorgho sera implanté pendant l'hivernage pour assurer un apport en eau satisfaisant.

### 3.3.3 Durée du cycle

La durée du cycle de développement (Figure 10) est entre 90 et 200 jours (Chantereau et al., 2013). Celle-ci est variable en fonction de la zone de culture mais aussi de la variété utilisée. En effet, elle sera plus longue en zone tempérée et plus courte en zone tropicale (Vaksmann et Niangado, 1996).

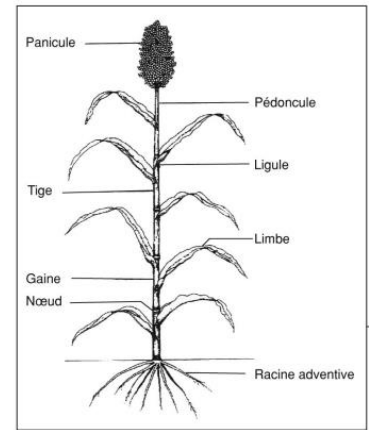


Figure 9 : Plant de sorgho (Chantereau et al., 2013)

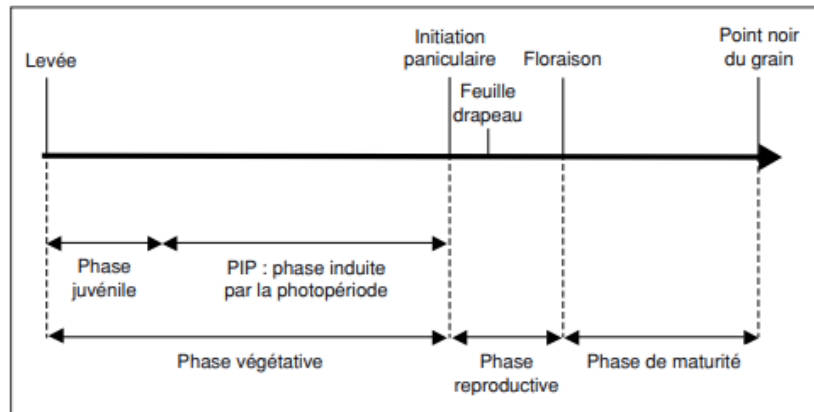


Figure 10: Cycle du sorgho (Chantereau et al., 2013).

### 3.3.4 Commercialisation

Le rendement moyen du sorgho au Sénégal est de 350 à 400 Kg/ha (Ministère de l'agriculture et de l'élevage, 2001). Celui-ci est consommé à raison de 0,7 Kg/tête/an en moyenne. La consommation en milieu rural est plus élevée (2,8 Kg/tête/an) qu'en milieu urbain (0,05 Kg/tête/an). Le sorgho constitue la céréale la moins consommée au Sénégal (La VOIX de la Vallée, 2019).

## 4 Description des cultures maraichères

### 4.1 Poivron

#### 4.1.1 Description

Le poivron (*Capsicum annum* L.) est originaire d'Amérique du Sud. Des graines datant de 5000 ans ont été retrouvées au Mexique là où, sans doute, la domestication a eu lieu (INRA, s.d).

Le poivron est une plante annuelle dicotylédone qu'on peut retrouver sur tous les continents (Meliani et al., 2020). Elle fait partie de la famille des Solanacées (Hernández-Verdugo et al., 2001).

Un plant de poivron (Figure 11) peut atteindre 1 à 1,5 m de hauteur. Il existe des formes et des couleurs très variables du fruit (Service du développement rural, 2016).

Le poivron a un système racinaire de type pivotant. Celui-ci peut atteindre une profondeur de 70 à 80 cm (Hattou, 2016).

#### 4.1.2 Implantation

Le poivron préfère des sols profonds, meubles et bien drainés. Du fait qu'il est héliophile, il est mieux de le placer en plein soleil. La profondeur de semis du poivron est à 1 cm. Un écartement entre les lignes de 80 cm est conseillé avec 50 cm entre les plants (Legba et al., 2020).

Le poivron est cultivé en contre saison au Sénégal, c'est-à-dire en période de saison sèche.



Figure 11 : Plant de poivron (ConsoGlobe, 2019)

#### 4.1.3 Durée du cycle

La durée du cycle du poivron (Figure 12) est d'environ 5 à 6 mois (DAG,2018). Il est préférable de mettre en place la culture en pépinière. Du semis à la levée, il y a 10 jours. Ensuite, il faut procéder au repiquage 2 à 3 semaines après la levée, c'est-à-dire au stade de 8 à 10 feuilles. La récolte pourra commencer environ 2 mois après le repiquage. Celle-ci peut durer jusqu'à 2 mois (Service du développement rural, 2016).



Figure 12: Cycle de développement du poivron (ConsoGlobe, 2019)

#### 4.1.4 Commercialisation

Le poivron est un légume produit dans le monde entier. En 2020, la production globale était de 36,09 Mt, les principaux pays producteurs étant la Chine, le Mexique, l'Indonésie et la Turquie, avec respectivement un taux de production en 2020 (par rapport à la production mondiale) de 46,13 %, 7,81 %, 7,68 % et 7,31 % (Tridge, 2022). Le rendement du poivron moyen dans le monde est de 17,8 t/ha (La Rédaction, 2018).

## 4.2 Tomates

### 4.2.1 Description

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est originaire de l'Amérique du Sud et plus précisément du Pérou, du Chili, de la vallée des Andes et de l'Équateur. Cette plante domestiquée au Mexique et améliorée par les aztèques arrive en Europe au 16<sup>ème</sup> siècle (Costa Santos Baltazar et al., 2010).

La tomate (Figure 13) est une plante annuelle dicotylédone qui fait partie de la famille des Solanacées. Un plant de tomate peut atteindre les 2 m de haut et est assez buissonnant. Le fruit peut selon les variétés être de couleur et de taille différentes (DAG, 2018).

La tomate a un système racinaire de type pivotant. Celui-ci peut être très dense et ramifié sur les 30 premiers centimètres (Caron, 2018) et peut atteindre une profondeur de 50 cm (Jadoule, 2021).

## Partie théorique

### 4.2.2 Implantation

Il est préférable de semer la tomate en pépinière et ensuite procéder à sa transplantation. Cela permettra une meilleure implantation des plantes (DAG, 2016).

La profondeur de semis de la graine de tomate est de 1 cm. Lors du repiquage, il faut respecter un écartement entre les lignes de 80 cm et de 50 cm entre les plants (Agriculture au Cameroun, 2020). Le sol idéal pour le développement de la tomate est ameubli, profond, léger et bien drainé (DAG, 2016).

La tomate est cultivée en contre saison au Sénégal, c'est-à-dire en période de saison sèche.



Figure 13 : plant de tomate (Jadoule, 2021)

### 4.2.3 Durée du cycle

La durée du cycle de la tomate en condition tropicale est très variable. En fonction des conditions cultures et de la variété, celui-ci peut aller de 4 à 7 mois et demi (DAG, 2016).

Une fois semées, les graines vont germer au bout d'une semaine. Le repiquage des plants se fait entre l'apparition de la troisième et la cinquième feuille. Entre 3 ou 6 semaines après le repiquage, les fleurs commencent à apparaître. Environ une semaine après, les fruits commencent à se former (nouaison). La récolte peut avoir lieu 1 mois après la nouaison (DAG, 2016).

### 4.2.4 Commercialisation

Au Sénégal, la filière de la tomate est dominée par 3 gros industriels : SOCAS, AGROLINE et TAKAMOUL. Le comité national de concentration de la filière tomate industrielle (CNCFTI) coordonne les activités de la filière. Ce comité représente 15 000 producteurs (La VOIX de la Vallée, 2021).

Le rendement à l'hectare de la tomate est de 27 tonnes. Entre 2017 et 2020, la production de tomate industrielle est estimée à 60 800 tonnes dont 90 % sont utilisés par les industriels pour le marché du concentré. La demande en double concentré au niveau national est de 24000 tonnes (soit 144000 tonnes de tomate fraîche). L'offre étant de 60 800 tonnes, un déficit de 83 200 tonnes est observé. Celui-ci est comblé par les importations (La VOIX de la Vallée, 2021).

Le prix au kilogramme de la tomate industrielle était de 520 FCFA en 2008. Le prix du kilogramme des tomates rondes est passé de 584 FCFA/Kg en 2019 à 659 FCFA/Kg en 2020 (La VOIX de la Vallée, 2021).

## 4.3 Aubergine douce

### 4.3.1 Description

L'aubergine (*Solanum melongena* L.) est une plante originaire d'Asie (Inde, Birmanie). C'est une plante annuelle en climat tempéré et pérenne en climat tropical (Verolet et al., 2001).

C'est une dicotylédone qui fait partie de la famille des Solanacées. Son système racinaire est pivotant (Une pépinière, s.d.). Le plant d'aubergine peut atteindre plus de 2 m de hauteur mais il est conseillé de garder le plant à 1 m pour faciliter les manipulations. De plus, le fait de rabattre le plant à chaque fois va permettre de stimuler les pieds (DAG, s.d.).

### 4.3.2 Implantation

L'aubergine préfère des sols sableux, limoneux ou argilo-limoneux, sinon il faut faire très attention à ce que le sol utilisé soit meuble, profond et bien drainé. La profondeur de semis de la graine d'aubergine est entre 0,5 et 1 cm. L'écartement entre les lignes est entre 60-100 cm et celui entre les plantes de 40-50 cm (Ministère de l'Agriculture (Niger), s.d).

L'aubergine (Figure 14) est cultivée en contre saison au Sénégal, c'est-à-dire en période de saison sèche.

#### 4.3.3 Durée du cycle

La durée du cycle de l'aubergine peut être très longue. Mais il est conseillé de l'écourter à 8 mois car après cette période les plants sont épuisés, tombent malade beaucoup plus facilement et le rendement baisse (DAG,s.d.).

Il est préférable de semer en pépinière puis repiquer en plein champ. Cela améliore le taux de survie des plantes. La levée a lieu 7 à 14 jours après le semis. Après un séjour de 30 à 45 jours en pépinière, les plants ont normalement atteint le stade 7 ou 9 vraies feuilles. C'est à ce moment-là que le repiquage est conseillé (Ministère de l'Agriculture (Niger), s.d). Plus ou moins deux mois après le repiquage, les plantes commencent à fructifier. La récolte peut s'étaler sur 5 mois (DAG,s.d.).



Figure 14 : Plant d'aubergine douce (Hodgson, 2020)

#### 4.3.4 Commercialisation

Le rendement de l'aubergine est très variable selon les sols et les conditions de cultures. Celui-ci peut varier entre 8 t/ha et 40 t/ha (Ngom et al.,2015 ; DAG,s.d.).

Au Sénégal, le kilogramme d'aubergine est vendu à 500 FCFA. Les vendeuses vont acheter des sacs de 25 Kg qu'elles revendront au détail (2 aubergines 100 FCFA) sur le marché (Sénégal export, 2020).

La période de production de l'aubergine se situe entre mars et mai.

### 4.4 Aubergine amère

#### 4.4.1 Description

L'aubergine amère ou aubergine africaine (*Solanum aethiopicum* L.) trouve son origine en Afrique tropicale et en Amérique du Sud (Brésil surtout) (PROTA, s.d.).

C'est une plante vivace dicotylédone qui fait partie de la famille des Solanacées. Son système racinaire se développe tant verticalement qu'horizontalement (PROTA, s.d.).

Le fruit selon la variété peut avoir une couleur blanche-verdâtre à rouge-orange et une forme plate et côtelée (Tropicasem, 2020).

#### 4.4.2 Implantation

L'aubergine amère est adaptée au climat chaud et sec. Elle demande un sol profond et bien drainé. Les plants peuvent être plantés en plein soleil et, selon la variété, les températures qu'elle peut supporter se situent entre 20 et 45°C Le plant n'a pas besoin d'être tuteuré (PROTA, s.d.). La profondeur de semis de la graine d'aubergine est entre 0,5 et 1 cm (Ministère de l'Agriculture (Niger), s.d). L'écart entre les lignes varie entre 75 et 100 cm et les plantes entre 50 et 100 cm (PROTA, s.d.).

L'aubergine africaine est cultivée en contre saison au Sénégal, c'est-à-dire en période de saison sèche.

#### 4.4.3 Durée du cycle

L'arrivée à maturation varie d'une variété à l'autre mais se situe en moyenne entre 60-120 jours après le semis (Green Seeds, s.d. ; Tropicasem, 2020 ; Han et al., 2021).

La germination a lieu entre 3 à 9 jours après le semis. Une fois que les plants atteignent le stade 5 à 7 feuilles (30 à 35 jours après le semis), ils peuvent être repiqués en champ. La récolte a lieu une fois que la couleur adéquate des fruits est atteinte et peut se faire une fois par semaine (PROTA, s.d.).

## Partie théorique

### 4.4.4 Commercialisation

En Afrique tropicale, l'aubergine amère est cultivée et consommée de manière fréquente. En volume de consommation elle est en 4<sup>ème</sup> place après la tomate, l'oignon et le gombo (Fondio et al., 2008). Les rendements des différentes variétés se situent entre 5 et 8 t/ha sans irrigation et 12 et 20 t/ha avec irrigation. Des variétés améliorées peuvent atteindre un rendement de 50 à 80 t/ha (PROTA, s.d.).

Des statistiques fiables de la production annuelle de ce fruit sont très difficiles à trouver. Cependant, des estimations ont été réalisées. Au Sénégal, la production annuelle serait de 8000 t. Pour combler la demande en ville et l'exportation vers l'Europe, la proportion commercialisée ne cesse d'augmenter. Cette demande est satisfaite par 3 pays principaux d'Afrique subsaharienne : la Côte d'Ivoire, le Sénégal et le Burkina Faso, avec une production annuelle de respectivement 60 000 t, 8000 t et 4500 t. L'Ouganda participe aussi à satisfaire cette demande (Fondio et al., 2008).

## 5 Mycorhization

### 5.1 Mycorhize

#### 5.1.1 Définition

La symbiose, basée sur des échanges réciproques, entre le système racinaire d'une plante et un champignon mycorhizien, forme une mycorhize (Julianus et al., 2019). L'appellation vient du grec *myco* qui signifie champignon et *rhiza* qui signifie racine. Certaines plantes ne peuvent pas, ou très peu, former une association mycorhizienne. Ces familles comptent les *Brassicaceae*, les *Caryophyllaceae*, les *Cyperaceae*, les *Juncaceae*, les *Chenopodiaceae* et les *Amaranthaceae* (Ndonda, 2018).

#### 5.1.2 Rôle et fonctionnement

##### **Rôles**

La formation de filaments, ou hyphes mycéliens, permet au champignon d'avoir accès aux ressources carbonées, indispensables à son métabolisme, synthétisé par la plante grâce à la photosynthèse. Ces mêmes filaments mycéliens vont améliorer la nutrition minérale de la plante (Haougui et al., 2013) notamment par une amélioration de l'absorption du phosphore. Par exemple, les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMAs) contribuent à 90 % dans l'absorption de phosphate par les plantes (Sahraoui, 2013), l'hydratation et la protection de la plante hôte contre les pathogènes (Haougui et al., 2013 ; Julianus et al., 2019). Ceci est possible car le volume de sol exploré est plus grand grâce aux hyphes mais aussi car il y a production d'enzymes (phosphatase, phytase, ...) qui rend la mobilisation du phosphore à partir de composés complexes du sol beaucoup plus probable (Ndonda, 2018 ; Haougui et al., 2013).

Les mycorhizes peuvent contribuer à une croissance améliorée de la plante ainsi qu'à une meilleure résistance aux différents stress biotiques et abiotiques (Sahraoui, 2013).

Les exsudats provenant des hyphes vont stimuler la prolifération de microorganismes spécifiques. Le volume de sol influencé par ces hyphes peut être appelé hyphosphère (Ndonda, 2018).

Une meilleure stabilisation du sol sera observée en présence de mycorhizes. Des micro-agrégats vont s'attacher sur une protéine, la glomaline, produite par les hyphes, et vont former des macro-agrégats stables. De ce fait, le sol sera plus résistant aux événements dégradant le sol, tels que l'érosion et la lixiviation (Sahraoui, 2013).

Les champignons mycorhiziens, plus spécifiquement les CMAs, sont utilisés dans la phytoremédiation assistée : c'est une méthode par laquelle les CMAs combinés à la plante sont utilisés comme éléments curatifs contre la pollution des sols. Ceux-ci vont immobiliser, contenir et/ou dégrader les polluants environnementaux (Sahraoui, 2013).

## Fonctionnement

Les mycorhizes vont entraîner une modification de la physiologie de la plante et, par conséquent, la sécrétion d'exsudats racinaires, ce qui va causer des changements dans la communauté bactérienne aux alentours de la partie mycorhizée des racines (Ndonga, 2018).

L'établissement de la mycorhize se fait en trois étapes (Figure 15). La première étape est la phase **asymbiotique**. Celle-ci représente la germination de la spore en l'absence de l'hôte. Durant cette étape, il y a formation d'un ou plusieurs tubes germinatifs et d'hyphes courts qui vont explorer le sol à la recherche d'une racine hôte (Forges, 2015).

Dès la perception d'une racine hôte, la deuxième étape peut commencer : c'est la phase **pré-symbiotique**, durant laquelle le champignon va activer son métabolisme et sa croissance car il a capté la présence de l'exsudat (phytohormones : strigolactones) de la plante hôte. Le CMA secrétera à son tour des signaux qui sont des facteurs Myc. Il y aura surtout des échanges de signaux entre les deux partenaires (Forges, 2015).

La dernière phase commence une fois que le contact entre les deux partenaires est établi : c'est la phase **symbiotique**. Un renflement de l'hyphe va permettre le contact entre les cellules de la racine et les cellules du champignon. Celui-ci se nomme l'appressorium. La réponse de la cellule végétale se fait par la formation d'un appareil de pré-pénétration constituée d'un tube cytoplasmique qui cédera le passage aux hyphes du champignon. Ceux-ci se développeront à l'intérieur de la racine. Une fois que les arbuscules sont formés, la symbiose sera considérée comme complète. Parallèlement au développement des hyphes dans les cellules, un mycélium extra-radicaire est en formation dans la plante. Ce mycélium est celui qui va permettre l'exploration du sol pour trouver des nutriments supplémentaires. Celui-ci va aussi coloniser d'autres racines. Finalement, des spores se développeront à partir du mycélium extra-radicaire et le cycle de vie du champignon sera bouclé (Forges, 2015).

### 5.1.3 Types de mycorhizes

Il existe différents types de mycorhize mais peu importe le type, le champignon reste dans le cortex racinaire et ne traverse pas la barrière endodermique (Figure 16).

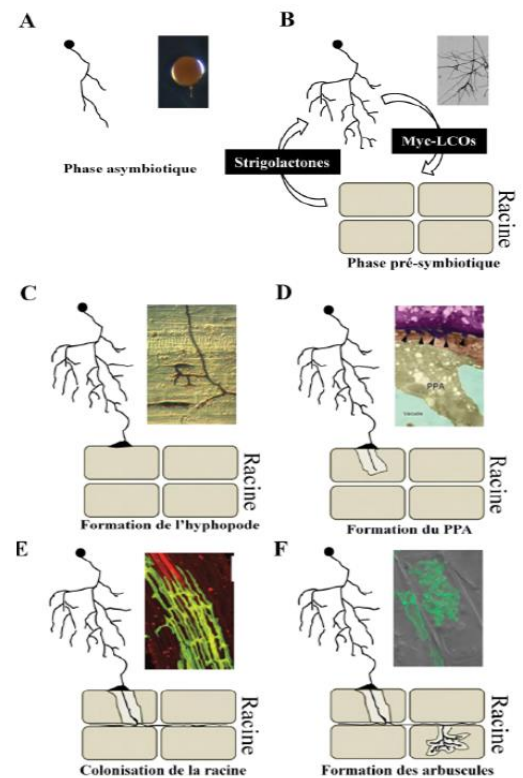


Figure 15 : les différentes étapes de l'installation d'une mycorhize à arbuscules. A=phase asymbiotique. B=phase pré-symbiotique. C-F=phase symbiotique (Forges, 2015)

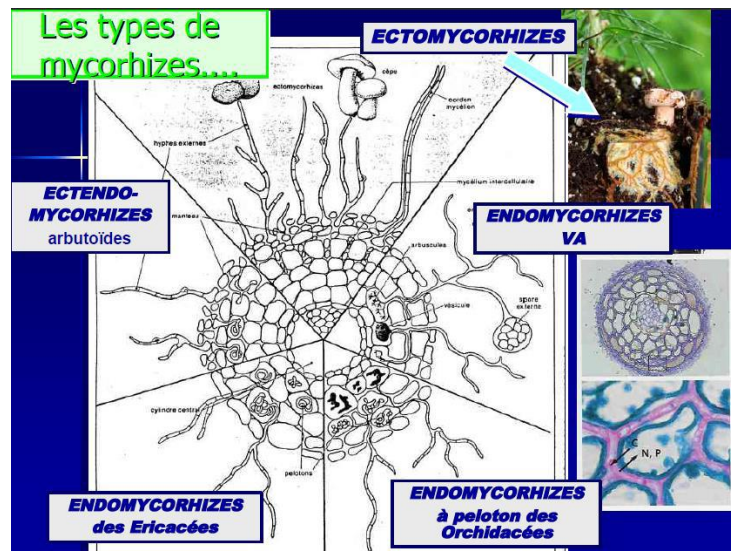


Figure 16: Les différents types de mycorhizes (Ndonda, 2018)

### Les endomycorhizes à vésicules et à arbuscules

Les champignons mycorhiziens à vésicules et à arbuscules sont des microorganismes ubiquistes dans le sol. Ceux-ci s'associent avec plus de 80 % des espèces de plantes vasculaires (Julianus et al., 2019).

Celles-ci impliquent 95 % des taxons végétaux à mycorhizes et elles ne sont pas visibles à l'œil nu. Bien qu'il existe moins de 200 espèces de champignons endomycorhiziens, ceux-ci touchent environ 80 % des plantes vasculaires terrestres, ce qui signifie que leur relation symbiotique n'est pas d'une spécificité élevée (Ndonda, 2018).

Étant des symbiotes obligatoires, ils sont non cultivables en l'absence de l'hôte, c'est ce qu'on appelle la biotrophie. Ces champignons fonctionnent par formation d'un tunnel germinatif après la germination (Ndonda, 2018).

De ce tunnel, un hyphe, qui va différencier un appressorium, va apparaître et rentrera en contact avec la racine de l'hôte. Ensuite, l'appressorium va différencier un hyphe d'infection qui s'introduira entre les cellules de la racine où les structures d'échange (arbuscule et de réserve (vésicules)) vont se développer. S'en suit toute une série de ramification de l'hyphe pour finir par donner un arbuscule qui est la structure typique de ce type de mycorhize (Ndonda, 2018).

### Les endomycorhizes à pelotons intracellulaires

Dans ce cas, les hyphes vont pénétrer dans les cellules racinaires et former des amas, appelés pelotons, en s'enroulant sur eux-mêmes. Ces pelotons sont formés dans des cellules actives. Ce type de champignon forme rarement un réseau intercellulaire. Une propagation directe de cellule en cellule a lieu (Ndonda, 2018).

### Les ectomycorhizes

Les ectomycorhizes se développent majoritairement chez les dicotylédones et impliquent 3 à 5 % des plantes vasculaires. Cette symbiose a lieu avec des basidiomycètes et des ascomycètes qui sont des champignons supérieurs qui peuvent fructifier. Ces mycorhizes se retrouvent énormément chez les végétaux ligneux (Ndonda, 2018).

Contrairement aux mycorhizes mentionnées précédemment, le champignon dans ce cas peut parfois être cultivé sans l'hôte (Ndonda, 2018).

Des changements morphologiques dans le système racinaire ont lieu avec l'installation de la mycorhize. Un manteau fongique, constitué d'hyphes, se développe autour des racines principales et les poils absorbants vont disparaître. Ensuite, les hyphes qui viennent du manteau vont aller s'insérer entre les cellules de la racine de l'hôte. Ce réseau d'hyphes s'appelle le « réseau de Hartig ». D'autres hyphes vont aussi s'étendre vers l'extérieur et former ce qu'on appelle un réseau extra matriciel (Ndonga, 2018).

### Les ectendomycorhizes

Ce sont des mycorhizes qui incluent des structures d'endomycorhize et d'ectomycorhize.

#### 5.2 Production d'inoculum

Les plantes propagatrices ou multiplicatrices sont des individus qui vont être utilisés pour la multiplication des spores du champignon. Celui-ci est en général isolé dans la zone où les essais auront lieu et est utilisé pour former l'inoculum par la suite. Il existe beaucoup de plantes mycorrhizotrophes, notamment les alliées (oignon, cive, ail, poireau, ...), les graminées (sorgho, maïs, millet, ...) ou les légumineuses (pois, trèfle, luzerne, lentille, crotalaire). Ces plantes sont considérées comme des plantes pièges, multiplicatrices et puis finalement donneuses. Une association des plantes mycorrhizotrophes (donneuses) aux plantes receveuses se fait par la suite pour faciliter la colonisation. Cette colonisation est rapide et importante grâce au réseau mycorhizien (Julianus et al., 2019).

Une inoculation lors du semis ou du repiquage de la culture voulu peut également être fait en utilisant l'inoculum produit par les plantes propagatrices. C'est ce qui a été fait dans ce mémoire.

L'inoculum peut aussi être produit in-vitro où les spores ou les structures intraracinaires du champignon sont mises en contact direct avec les racines de la culture choisie (Strullu et al., 1997).

Finalement, un des défis de la production d'inoculum est la dépendance des CMA de leur hôte. En effet, sans contact entre les deux, rien ne se produit (Fortin et al., 2016).

#### 5.3 La symbiose mycorhizienne aujourd'hui

La Société Internationale sur les Mycorhizes (International Mycorrhiza Society : IMS) organise des conférences internationales (ICOM) dans un pays différent (Figure 17) tous les deux ou trois ans (Mycoagra, s.d.). celles-ci facilitent les échanges de techniques et de connaissances entre les scientifiques, exploitants agricoles, forestiers et industries travaillant dans ce domaine.



Figure 17 : Lieux des réunions depuis 1996 (Mycoagra, s.d.)

### III. Partie expérimentale

#### 1 Objectif du travail

Par suite de rendements agricoles fluctuants, une instabilité des prix sur les marchés mondiaux et des limitations de la surface des terres cultivables, la transition agroécologique a été placée dans les priorités du Sénégal.

La technique d'inoculation des plantes avec des microorganismes symbiotiques peut améliorer les rendements de production agricoles tout en contribuant à la transition agroécologique du pays. Cette technique est adaptée à l'agriculture familiale. Notamment vivrière grâce à son faible coût et sa facilité d'utilisation.

Malgré son intérêt, l'utilisation des relations symbiotiques reste un levier agroécologique très peu utilisé au Sénégal. Ceci est dû non seulement au peu de connaissances scientifiques et techniques exploitées dans le contexte local mais aussi à l'indisponibilité locale d'inoculum, l'absence de protocoles adaptés pour leur application, la non instauration de réglementation précise pour la mise sur le marché du produit, le manque de données relatives à l'efficacité et la durabilité économique du produit, et l'insuffisance de synergies entre les acteurs.

L'objectif général de ce mémoire est de permettre la mise à disposition pour la population locale d'un inoculum de qualité produit localement au Sénégal afin de renforcer les rendements des cultures maraîchères en agriculture familiale. L'objectif spécifique est de contribuer à l'optimisation du protocole de production délocalisée de champignons mycorhiziens de qualité sur le site pilote de Ngoye. Dans ce contexte, ce travail a consisté :

1. En l'identification, dans les conditions de production délocalisée de Ngoye, des meilleures combinaisons « plantes propagatrices/champignons », permettant de fournir une production de qualité pour les villageois. Plus spécifiquement, le maïs et le sorgho seront comparés entre eux en tant que plantes propagatrices, et 4 souches différentes de champignons seront testées sur chacune des 2 plantes.
2. En l'évaluation des effets de l'inoculation au champ sur la productivité des spéculations principalement cultivées par les villageois.
3. En la formation par la démonstration d'une cinquantaine de villageois.

#### 2 Cadre et contexte de travail

Les essais ont eu lieu dans une serre et des parcelles situées dans la commune de Ngoye au village de Ngueye Ngueye. Cette commune fait partie du département de Bambey dans la région de Diourbel au Sénégal (Figure 18).

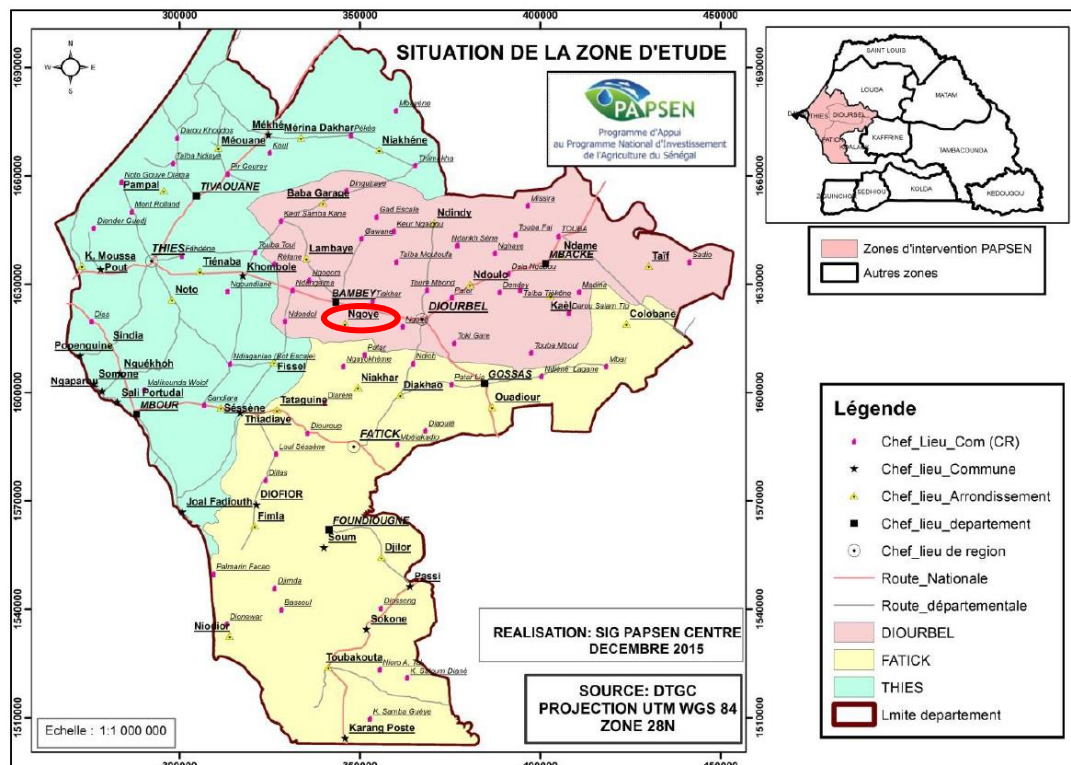


Figure 18 : Situation de la zone d'étude au Sénégal. Le cercle rouge indique la localisation du village de Ngoye (Diop et Bacci, 2016)

Le village de Nueye Ngueye est accessible seulement à travers une piste, il est à une distance de 3,1 Km de la première route goudronnée (Figure 19). Les villageois rejoignent principalement la piste goudronnée à pied ou en charrette.

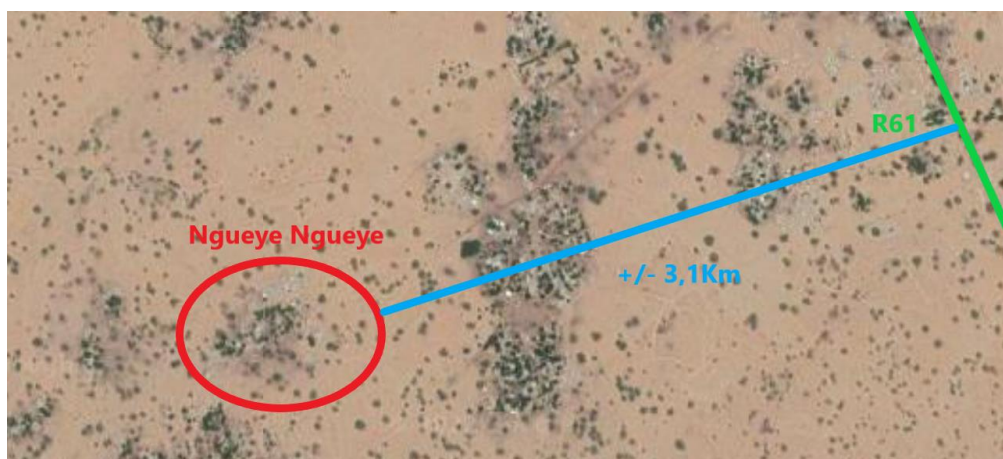


Figure 19 : Distance entre NueyeNgueye et la première route goudronnée

### 3 Identification en serre du système « plante hôte/champignon » le plus productif en inoculum

#### 3.1 Matériel

##### 3.1.1 Semences

Les semences utilisées pour l'essai en serre sont le maïs et le sorgho, toutes d'origine paysanne. Celles-ci ont été achetées sur le marché de Ngoye.

## Partie expérimentale

### 3.1.2 Inoculum starter

L'inoculum utilisé pour les essais en serre était un inoculum dit « starter » (Figure 20), produit par le laboratoire commun de Microbiologie IRD-ISRA-UCAD de Dakar et constitué de sable issu des sols Sénégalais mélangé à des propagules de champignons issus de leur collection de champignons.



Figure 20 : Inoculum starter

Les champignons utilisés pour ce test sont les suivants :

1. *Glomus aggregatum*
2. *Glomus fasciculatum*
3. *Glomus mosseae* (ou *Funneliformis mosseae*)
4. *Rhizophagus irregularis*

Ces quatre champignons sont de type endomycorhizien à arbuscules et à vésicules.

### 3.1.3 La serre et les bacs de production d'inoculum

La serre a été construite en 2020 par les villageois et grâce à un financement de l'ARES. Celle-ci se compose de 6 bacs de production d'inoculum (Figure 21) et d'un accès facilité à l'eau.

Ces bacs ont une profondeur de 50 cm, une largeur d'un mètre et une longueur de 21 m. Ce sont des bacs fabriqués en béton. Une gouttière est située au fond du bac au milieu pour évacuer l'excédent d'eau. Deux des six bacs ont été mis à disposition pour la réalisation de l'essai. Un bac contiendra la culture de maïs et le deuxième la culture de sorgho.



Figure 21 : Serre avant le début de l'expérimentation

Les bacs sont remplis de coque d'arachide broyée, utilisée comme substrat de propagation bon marché, jusqu'à 35 cm de hauteur. Cette hauteur a été choisie suite aux résultats d'essais réalisés préalablement à ce TFE et qui visaient à identifier la hauteur la plus adaptée à la production d'inoculum en tenant également compte des contraintes économiques (Ngom, 2022).

Au sein d'un même bac, les séparations entre les différents traitements (4 souches de champignons + 1 témoin) et les différentes répétitions ont été réalisées avec des plaques en plastique (Figure 22).

## 3.2 Méthode

### 3.2.1 Solarisation

Préalablement à la mise en culture, le substrat a été solarisé afin d'éliminer les éventuels adventices et bioagresseurs. Pour ce faire, le substrat des bacs était entouré d'une bâche en plastique pour une période de 4 semaines.

Une fois la solarisation terminée, la partie en plastique du dessus a été retirée et la partie du dessous a été perforée pour laisser place à l'évacuation de l'eau lors des arrosages.

### 3.2.2 Arrosage, semis et inoculation

La deuxième étape consistait en l'arrosage du substrat pendant 2 jours pour le préparer au semis. Le semis a été fait de la même manière et à la même date (14-03-22) dans les 2 bacs : sorgho et maïs.

Les poquets ont été matérialisés à la main avec une profondeur de 3 cm. Ensuite, l'inoculum starter a été déposé à raison de 10 g par poquet. Pour ce qui est du maïs, les semences ont été mises à tremper (Figure 23) le jour avant et le semis (Figure 24) a été fait en mettant 3 graines par poquet. Quatre graines par poquet pour le sorgho.



Figure 23 : Semences de maïs

### 3.2.3 Dispositif expérimental

Chaque bac a été divisé en 20 compartiments pour assurer 4 répétitions par traitement. Les traitements sont au nombre de 5 : les 4 souches et le témoin. Donc les bacs étaient divisés en 4 blocs. La répartition des traitements a été décidée aléatoirement par tirage au sort puisqu'il s'agit d'un dispositif en bloc complètement aléatoire. Chaque bloc est divisé en 5 et chaque compartiment contient 20 plants. L'écartement entre les plantes était de 20 cm des 2 côtés.

Les différents traitements utilisés en serre sont (Figure 25) :

- S1 = souche 1 (*Glomus fasciculatum*)
- S2 = souche 2 (*Glomus aggregatum*)
- S3 = souche 3 (*Rhizophagus irregularis*)
- S4 = souche 4 (*Glomus mosseae*)
- T = coque d'arachide sans inoculation



Figure 22 : Installation des plaques en plastique



Figure 24 : semis du maïs

## Partie expérimentale

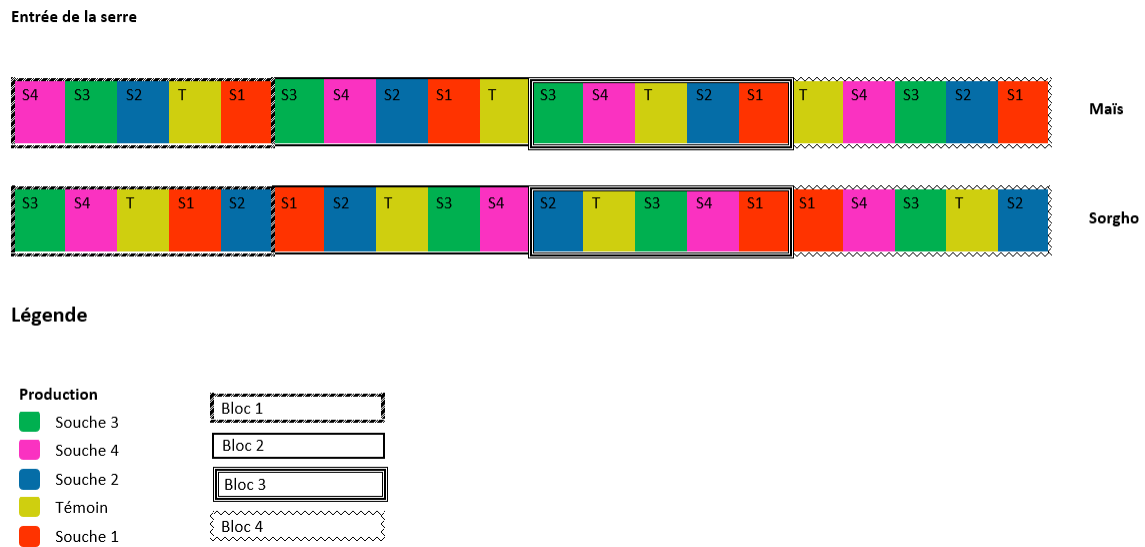


Figure 25 : Dispositif expérimental

### 3.2.4 Observation

Les variables observées dans cet essai étaient la fréquence et l'intensité de mycorhization des racines et le nombre de spores présentes dans l'environnement racinaire 100 jours après le semis. Le mois précédent la récolte, les plants ont été soumis à un stress hydrique pour provoquer la production de spores. Les analyses d'échantillons ont été réalisées au LCM (Laboratoire de Chimie Moléculaire) de l'IRD à Dakar. Un plant par traitement dans chaque bloc a été récolté, ce qui donne un total de 20 plants de maïs et 20 plants de sorgho.

- Fréquence et intensité

L'estimation de la mycorhization a été fait selon la méthode utilisée par Trouvelot et al. (1986). Celle-ci permet le calcul de la fréquence et de l'intensité de mycorhization de la manière suivante (Meddich et al., 2017) :

La fréquence de mycorhization (F) décrit l'importance de l'infection des racines.

$$F(\%) = \frac{\text{nombre de fragments mychorisés}}{\text{nombre total de fragments}} * 100$$

L'intensité de mycorhization (I)

$$I(\%) = \frac{95n_5 + 70n_4 + \dots}{\text{nombre total de fragments}} * 100$$

Où n représente le nombre de fragments. Ceux-ci sont numérotés de 5, 4, 3, 2, 1, 0. Ces chiffres représentent les différentes classes.

0 : pas de mycorhization

1 : 1-4 % de mycorhization

2 : 5-29 % de mycorhization

3 : 30-69 % de mycorhization

4 : 69-95 % de mycorhization

5 : > 95 % de mycorhization

10 lames de 10 fragments de racine d'une longueur d'un cm pour chaque plante des 20 récoltées ont été observées.

- Nombre de spores

La récolte des échantillons pour les analyses au laboratoire des différentes observations a été faite avec l'aide de l'équipe sur place de techniciens et de villageois. La partie aérienne a été découpée et la partie souterraine récoltée à l'aide de la pelle, et a ensuite été ensachée plusieurs fois pour éviter de perdre de la matière. Les échantillons ont ensuite été transportés jusqu'au laboratoire de l'IRD à Dakar.

Une extraction des spores a été réalisée selon la méthode de tamisage humide utilisée par Brundrett et Abbott (1995). Cette méthode consiste en la mise en suspension dans 1 litre d'eau de 100 grammes du composite pendant 1 minute. Ensuite, une décantation a été faite pour séparer les spores du sol. Le surnageant est ensuite transféré dans 4 tamis superposés par ordre décroissant (2mm, 100  $\mu$ m, 50  $\mu$ m et 40  $\mu$ m). Pour récupérer le maximum de spores, cette manipulation a été répétée 2 fois. Les filtrats des tamis à plus petits pores ont été récupérés et mis dans des flacons différents contenant de l'eau. Ensuite, 5 millilitres de solution de saccharose ont été injectées dans chacun des flacons. Une centrifugation à 3000 tours/min pendant 10 minutes à 4 °C a été réalisée. Les spores ont été récupérées à l'interface des solutions du tamis de 40  $\mu$ m et conservées à 4°C (Brundrett et Abbott, 1995).

Le comptage et l'observation des spores ont été fait à la loupe binoculaire dans une boîte de Petri à quadrillage (Brundrett et Abbott, 1995).



Figure 26 : Récolte des échantillons de racines de sorgho et de maïs



Figure 27 : Racines utilisées pour les observations

## 4 Evaluation au champ de l'efficacité de l'inoculum produit sur différentes spéculations maraîchères

### 4.1 Matériel

Quatre parcelles ont été mises à disposition de l'essai. Ces parcelles étaient toutes situées dans le village de Ngoye mais étaient situées à des endroits différents et étaient de tailles différentes.

Des échantillons de sol ont été prélevés le 14 mars 2022 pour effectuer des analyses de sols au laboratoire de l'IRD à Dakar. Les 4 parcelles utilisées ont montré un sol de type sablonneux (allant de 70,3 à 90 % de sable : voir annexe 1). Les teneurs étaient :

## Partie expérimentale

- en azote total : bonne à très bonne
- en carbone total : faible
- en phosphore assimilable : faible à médiocre

La faible teneur en carbone et le bon taux en azote peuvent s'expliquer par le fait qu'il s'agit de terres cultivées depuis plusieurs années et que du fumier et/ou du compost est régulièrement ajouté. Concernant le pH, celui-ci se situe entre 7 et 8, caractéristiques des sols neutres à basiques.

Dans chaque parcelle, 2 spéculations minimum et 4 spéculations maximum ont été installées. Ceci dépendait de la taille de la parcelle mais aussi des semences qui ont germées et survécues en pépinière.

Le compost a été réalisé par un des villageois ayant reçu une formation dans le compostage. La composition du compost se trouve en annexe 2.

Les produits de lutte contre les ravageurs et les maladies utilisés sont des mélanges de produits essentiellement d'origine végétale. L'ingrédient principal de ces mélanges était l'huile de neem extraite d'un arbre très présent au Sénégal. Cet arbre (*Azadirachta indica*) est originaire d'Inde (Ghosh et al., 2021). Le composé insecticide principal se trouvant dans l'arbre est l'azadirachtine. Ce composé causerait 90 % des effets observés sur les ravageurs (Campos et al., 2016). De plus, il va perturber la métamorphose des insectes et peut agir comme anti-appétant et répulsif. L'huile de neem n'est pas seulement insecticide mais aussi fongicide et miticide (Waghmare et al., 2007).

Plusieurs options ont été proposées aux agriculteurs pour éviter le développement de résistance contre le produit : des options contenant l'huile de neem seule ou en mélange avec d'autres éléments tels que le piment ou l'ail et un peu de savon. Ensuite, d'autres plantes ont été proposées en tant qu'herbicide ou insecticide, comme par exemple le papayer, mais ceux-ci n'étaient pas fournis par le projet. Les différentes options sont présentées en annexe 3.

Les spéculations utilisées sont la tomate (variété COBRA 34 F1), le poivron (variété NIKITA F1), l'aubergine douce (variété Black beauty) et l'aubergine amère ou africaine (variété NGALAM+).

L'inoculum utilisé était un inoculum d'un an, produit dans les bacs de la serre sur coques d'arachides et conservés dans des sacs de jutes au sec, à l'abri de la lumière et des températures extrêmes.

Les différents traitements utilisés en champ sont :

- S1 = souche 1 (*Rhizophagus irregularis*)
- S2 = souche 2 (*Glomus aggregatum*)
- S3 = souche 3 (*Glomus mosseae*)
- S4 = souche 4 (*Glomus fasciculatum*)
- SM = les 4 souches mélangées
- T+ = témoin avec coque d'arachide uniquement
- T- = planche paysanne (planche préparée selon les habitudes du village aussi sans inoculum ni coque d'arachide)

## 4.2 Méthode

### 4.2.1 Préparation des parcelles

Les parcelles ont été dessinées sur place à l'aide d'un mètre et d'une corde. Chaque planche mesurait 1 m de largeur sur 2 m de longueur. L'écartement entre les plantes et entre les rangs était de 40 cm toute spéculations confondue (Figure 28).

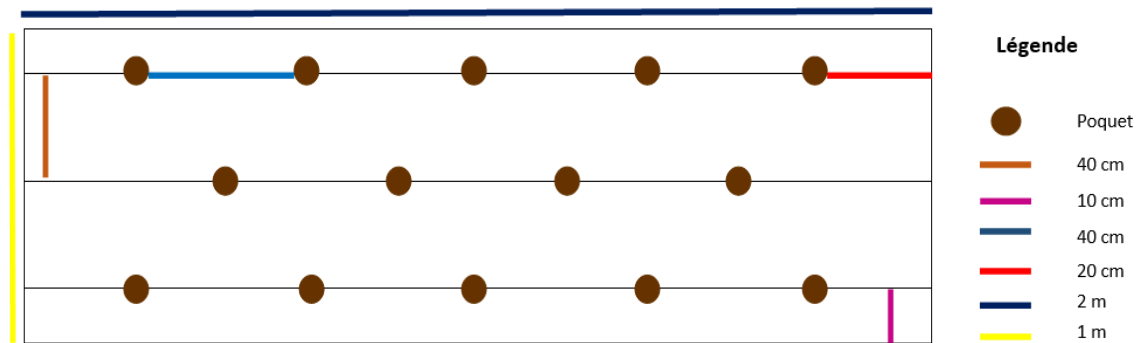


Figure 28 : Plan d'une planche individuelle

La préparation se faisait en plusieurs étapes (Figure 29) :

1. mesure sur sol sec (A) ;
2. formation de bordure en relief sur les bords de chaque planche (B) ;
3. décompactage si nécessaire à l'aide d'une fourche ou d'une daba (C) ;
4. arrosage pendant 3 jours à raison de deux fois par jour (D).

## Partie expérimentale



A



B



C



D

Figure 29 : A=mesure sur sol sec, B=formation de bordure en relief sur les bords de chaque planche, C=décompactage à l'aide d'une fourche ou d'une daba, D=arrosage des planches.

### 4.2.2 Arrosage, repiquage et inoculation

L'arrosage est un travail difficile car le puits n'est souvent pas très proche de la parcelle. Les femmes doivent transporter l'eau sur leur tête (Figure 30) dans des bassines de plus ou moins 30 l jusque-là.

Avant le repiquage, les planches ont été arrosées pendant 3 jours pour assurer une humidification homogène et profonde du sol, ce qui est primordial pour la germination des graines et la croissance du plant.

Une fois le repiquage réalisé, l'arrosage dans les parcelles avait lieu le matin et le soir.



Figure 30 : Femme portant la bassine d'eau sur la tête

Le stade de repiquage de chaque plante est différent. Dans le cas des 4 spéculations de ce mémoire les voici :

- poivron : 8 à 10 feuilles ;
- tomate : 3 à 5 feuilles ;
- aubergine douce : 7 à 9 feuilles ;
- aubergine amère : 5 à 7 feuilles.

Le repiquage consistait à prendre les plantules au bon stade pour ensuite les installer dans les poquets après avoir mis l'inoculum dedans. Celui-ci a été appliqué à raison d'un bouchon d'un bidon de 10 l (4 g) par poquet. Chaque traitement avait son propre bouchon (Figure 31) pour éviter les contaminations.



Figure 31 : Bouchon d'inoculum

Les différentes étapes du repiquage (Figure 32) :

1. matérialisation des poquets (A) ;
2. ajout de l'inoculum (B) ;
3. repiquage du plant (C) ;
4. appuyer le sol et l'arroser (D).

## Partie expérimentale



A



B



C



D

Figure 32 : A=matérialisation des poquets, B=ajout de l'inoculum, C=repiquage du plant, D=appuyer le sol et l'arroser

### 4.2.3 Dispositif expérimental

Les spéculations étaient réparties de la manière suivante par parcelle au sein du village de Ngueye Ngueye. Des étiquettes (A) ont été utilisées pour l'identification des différents traitements en champ (Figure 33).

- Parcelle 1 à Tonkgol 1 (B) : poivron, tomate
- Parcelle 2 à Tonkgol 2 (C) : poivron, tomate, aubergine douce et amère
- Parcelle 3 à Pintok (D) : poivron, tomate, aubergine douce et amère
- Parcelle 4 à Darou-sème (E) : poivron, aubergine amère



## Partie expérimentale

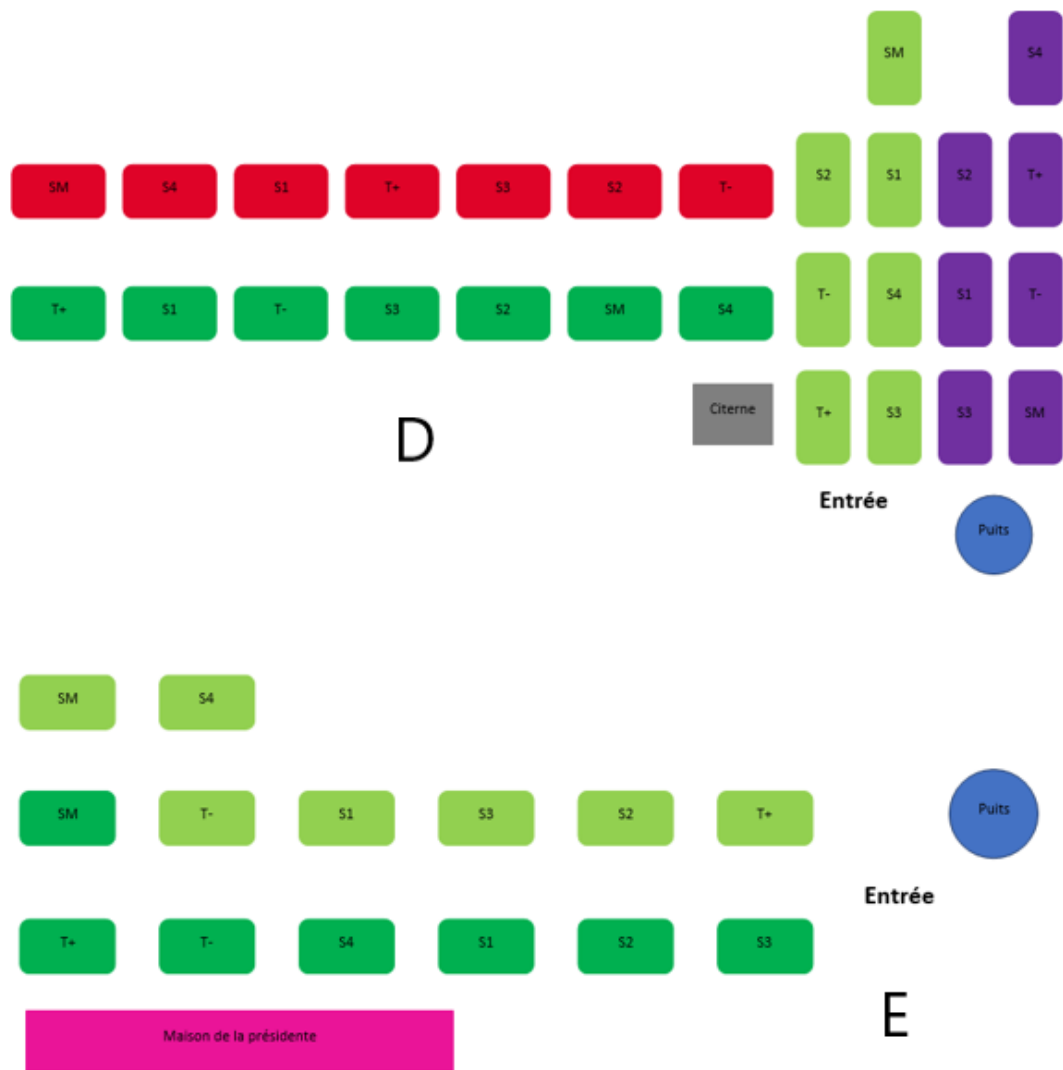


Figure 33 : A= étiquettes des différents traitements, B=Parcelle 1 à Tonkgol 1, C=parcelle 2 à Tongkol 2, D=parcelle 3 à Pintok, E= parcelle 4 à Darou-sème

### 4.2.4 Observations

Les paramètres mesurés pour cette partie sont la hauteur, le rendement et le poids de matière sèche.

#### Hauteur :

La hauteur a été prise tous les 10 jours entre la plantation et la récolte. La tige du plant a été mesurée à chaque fois pour les 4 spéculations.

#### Rendement :

Suite à des problèmes techniques sur le terrain lors de la prise de données, seul le rendement en poivron a pu être mesuré à l'aide d'une balance à 100 g de précision (Figure 34). Les données sur les autres spéculations étaient trop parcellaires pour pouvoir être statistiquement analysées.



Figure 34 : Poivron récolté

### Poids de matière sèche :

Tout comme le rendement, les données de poids de matières sèches étaient trop parcellaires pour être analysées correctement. Une fois encore, seul le poivron a pu faire l'objet d'analyses statistiques. À la fin de la récolte, 1 ou 2 plants ont été récoltés pour chaque traitement sur chaque parcelle. Ceux-ci ont été pesés puis séchés au soleil pendant 3 semaines puis pesés au laboratoire à l'aide d'une balance scientifique avec un degré de précision de 0,01 g.

## 5 Traitements des données

L'entièreté des analyses statistiques ont été réalisées sur SAS (version 9.4) avec l'aide du service statistique de l'université.

Une ANOVA a été utilisée sur toutes les observations, avec comme facteurs fixes « Traitements ou Souches » et « Spéculation » et un facteur aléatoire « Sites ou Bloc ». La vérification des conditions d'application a été faite, tout d'abord, par le calcul des résidus de l'ANOVA par la fonction *GLM*. Ensuite, par l'observation des graphiques des résidus.

Dans le cas du non-respect des conditions d'application des transformations de données ont été réalisées.

Un test de Dunnett de structuration des moyennes par rapport au témoin a été fait quand un résultat significatif est observé.

Un test de Fisher exact a été utilisé dans le cas de données de type binaire.

## 6 Identification en serre du système « plante hôte/champignon » le plus productif en inoculum

### 6.1 Résultats et discussion du sorgho

Ayant très peu de résultats pour le sorgho les données obtenues ont été transformées en données binaires (Tableau 1). Basées sur la présence (1) ou l'absence (0) de données liées à la mycorhization. Les données binaires sont donc les mêmes pour les 3 observations, à savoir le nombre de spores, l'intensité et la fréquence.

## Partie expérimentale

Tableau 1A : Données brutes ; Tableau 1B : Transformation des données brutes en données binaires 1=présence, 0=absence, B=bloc, ID=identifiant (traitements), S1 = souche 1 (*Glomus fasciculatum*), S2 = souche 2 (*Glomus aggregatum*), S3 = souche 3 (*Rhizophagus irregularis*), S4 = souche 4 (*Glomus mosseae*), T = coque d'arachide sans inoculation

A					B				
Bloc	ID	Nombre de spores (par 100 g d'inoculum)	Intensité (%)	Fréquence (%)	Bloc	ID	Nombre de spores (par 100 g d'inoculum)	Intensité (%)	Fréquence (%)
B1	S1	2	5	5,57	B1	S1	1	1	1
B2	S1	0	0	0	B2	S1	0	0	0
B3	S1	0	0	0	B3	S1	0	0	0
B4	S1	10	1,67	1,17	B4	S1	1	1	1
B1	S2	32	1,67	0,02	B1	S2	1	1	1
B2	S2	0	0	0	B2	S2	0	0	0
B3	S2	0	0	0	B3	S2	0	0	0
B4	S2	0	0	0	B4	S2	0	0	0
B1	S3	70	21,67	0,23	B1	S3	1	1	1
B2	S3	0	0	0	B2	S3	0	0	0
B3	S3	0	0	0	B3	S3	0	0	0
B4	S3	0	0	0	B4	S3	0	0	0
B1	S4	0	0	0	B1	S4	0	0	0
B2	S4	0	0	0	B2	S4	0	0	0
B3	S4	111	6,67	2,67	B3	S4	1	1	1
B4	S4	0	0	0	B4	S4	0	0	0
B1	T	0	0	0	B1	T	0	0	0
B2	T	0	0	0	B2	T	0	0	0
B3	T	0	0	0	B3	T	0	0	0
B4	T	0	0	0	B4	T	0	0	0

Le test exact de Fisher réalisé sur ces données binaires n'a pas permis de mettre en évidence un effet du traitement sur la mycorhization du sorgho (Tableau 2).

Tableau 2 : Test Exact de Fisher

Test Exact de Fisher	
P-valeur	0,9340
Taille de l'échantillon	20

Il est très important de ne pas oublier que les tests ont été réalisés sur une base de données constituée d'une seule observation. Ce qui peut expliquer le peu de résultats significatifs obtenus.

De plus, durant l'expérimentation un problème d'évacuation de l'eau a été repéré dans les bacs. Ce problème cause une stagnation de l'eau au fond du bac et à divers endroits au milieu de celui-ci. Sachant que le sorgho est une céréale sensible à l'excès d'eau (Kouressy et al., 2008). Cela pourrait expliquer le peu de résultats obtenus sur cette culture, car cet excès d'eau aurait empêché le bon développement de la plante, ce qui a pu freiner le développement des racines et, de ce fait, des champignons mycorhiziens.

### 6.2 Résultats du maïs

Une ANOVA 2 (analyse de la variance à 2 critères) de type croisée mixte a été utilisée pour l'analyse des données (Tableau 3) de chaque observation sur le maïs.

Tableau 3 : Résultats d'analyse de laboratoire sur les échantillons de maïs (=bloc, ID=identifiant (traitements), S1 = souche 1 (*Glomus fasciculatum*), S2 = souche 2 (*Glomus aggregatum*), S3 = souche 3 (*Rhizophagus irregularis*), S4 = souche 4 (*Glomus mosseae*), T = coque d'arachide sans inoculation

Bloc	ID	Nombre de spores (par 100 g d'inoculum)	Fréquence (%)	Intensité (%)
B1	S1	90	0,55	41,67
B2	S1	30	9,9	33,33
B3	S1	192	6,42	51,68
B4	S1	211	11,15	48,33
B1	S2	80	29,12	68,33
B2	S2	423	4	63,33
B3	S2	512	40,1	93,33
B4	S2	330	8,33	70
B1	S3	621	0,05	5
B2	S3	40	3,2	25
B3	S3	120	85,75	100
B4	S3	130	5,2	63,33
B1	S4	190	27,6	75
B2	S4	282	0,05	5
B3	S4	60	31,37	85,66
B4	S4	90	19,61	63,33
B1	T	3	0,5	0,35
B2	T	5	1	0,33
B3	T	10	11,52	5
B4	T	3	0,04	5,33

### 6.2.1 Nombre de spores

Les 2 facteurs testés sont le traitement et le bloc. Les résultats de l'analyse ANOVA (Tableau 4) montrent des p-valeurs pour les 2 facteurs supérieures à 0,05.

Tableau 4 : ANOVA 2 pour le nombre de spores pour le maïs

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
traitement	4	239445.8000	59861.4500	1.99	0.1606
bloc	3	6413.4000	2137.8000	0.07	0.9744

Il n'y a donc pas d'effet du traitement sur le nombre de spores par 100 g d'inoculum observé (Tableau 5).

## Partie expérimentale

Tableau 5 : Moyennes et écart type du nombre de spores par 100 g d'inoculum (les traitements ayant des lettres identiques ne sont pas significativement différents les uns des autres)

Traitement	Moyennes du nombre de spores (par 100g de d'inoculum)	Ecart type
S1 ( <i>Glomus fasciculatum</i> )	130,75 <sup>a</sup>	85,64
S2 ( <i>Glomus aggregatum</i> )	336,25 <sup>a</sup>	186,29
S3 ( <i>Glomus intraradices</i> )	227,75 <sup>a</sup>	265,24
S4 ( <i>Glomus mosseae</i> )	155,50 <sup>a</sup>	101
T (Témoin)	5,25 <sup>a</sup>	3,30

### 6.2.2 Fréquence de mycorhization

Les 2 facteurs testés sont le traitement et le bloc. Les résultats de l'analyse ANOVA (Tableau 6) montrent des p-valeurs pour les 2 facteurs supérieures à 0,05.

Tableau 6 : ANOVA 2 pour la fréquence de mycorhization du maïs

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
traitement	4	1300.770270	325.192568	1.00	0.4441
bloc	3	2898.919300	966.306433	2.98	0.0741

Il n'y a pas d'effet du traitement sur la fréquence de mycorhization (%) (Tableau 7).

Tableau 7 : Moyennes des fréquences de mycorhization (%) et les écarts types (les traitements ayant des lettres identiques ne sont pas significativement différents les uns des autres)

Traitements	Moyennes des fréquences (%)	Ecart type
S1 ( <i>Glomus fasciculatum</i> )	7,01 <sup>a</sup>	4,74
S2 ( <i>Glomus aggregatum</i> )	20,39 <sup>a</sup>	17,11
S3 ( <i>Glomus intraradices</i> )	23,55 <sup>a</sup>	41,52
S4 ( <i>Glomus mosseae</i> )	19,66 <sup>a</sup>	13,96
T (Témoin)	3,26 <sup>a</sup>	5,52

### 6.2.3 Intensité de mycorhization

Les 2 facteurs testés sont le traitement et le bloc. Les résultats de l'analyse ANOVA (Tableau 8) montrent des p-valeurs pour les 2 facteurs inférieures à 0,05.

Tableau 8 : Résultats de l'ANOVA 2 sur l'intensité de mycorhization

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
traitement	4	11095.26290	2773.81573	6.37	0.0055
bloc	3	4739.73858	1579.91286	3.63	0.0451

Il y a dans ce cas un effet significatif du traitement sur l'intensité de mycorhization du maïs (Tableau 9).

Tableau 9 : Moyennes des intensités de mycorhization (%) et les écarts types (les traitements ayant des lettres identiques ne sont pas significativement différents les uns des autres)

Traitements	Moyennes des intensités (%)	Ecart type
S1 ( <i>Glomus fasciculatum</i> )	43,75 <sup>b</sup>	8,10
S2 ( <i>Glomus aggregatum</i> )	73,75 <sup>b</sup>	13,36
S3 ( <i>Glomus intraradices</i> )	48,33 <sup>b</sup>	42,10
S4 ( <i>Glomus mosseae</i> )	57,25 <sup>b</sup>	36,00
T (Témoin)	2,75 <sup>a</sup>	2,79

Pour savoir quels sont les traitements qui montrent une différence significative en comparaison avec le témoin, un test de Dunnett (méthode de structuration des moyennes) a été réalisé.

En conclusion, les résultats montrent que l'intensité de mycorhization dans le maïs est significativement plus importante quand celui-ci est inoculé par rapport à quand il ne l'est pas. Les tests supplémentaires confirment une différence entre les champignons mycorhiziens à arbuscules et le témoin. En effet, les souches 1, 2, 3 et 4 (respectivement *Glomus fasciculatum*, *Glomus aggregatum*, *Glomus intraradices* et *Glomus mosseae*) ont montré une différence significative par rapport au témoin non inoculé. En revanche, aucune différence significative n'existe entre les souches en elles-mêmes (Figure 35).

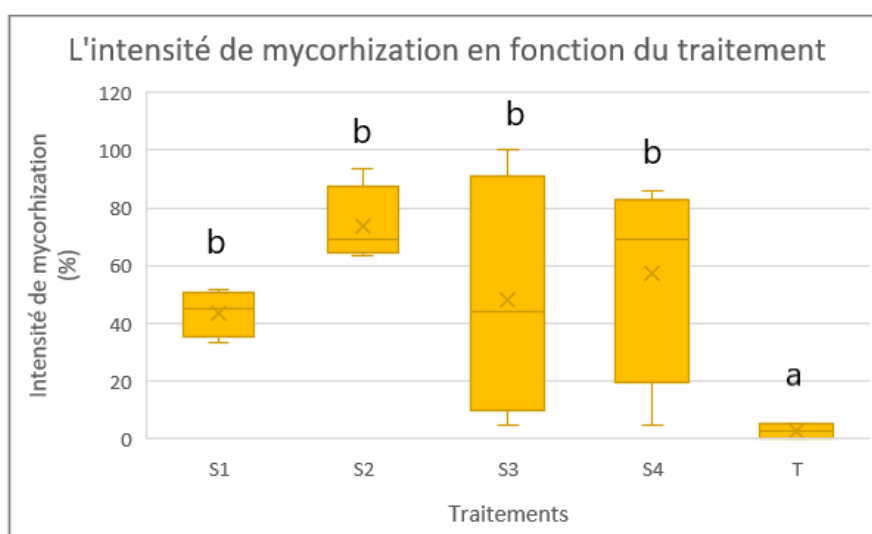


Figure 35 : Intensité de mycorhization en fonction du traitement (X=moyenne, a et b = tous les résultats avec des lettres différentes sont significativement différents, S1 = souche 1 (*Glomus fasciculatum*), S2 = souche 2 (*Glomus aggregatum*), S3 = souche 3 (*Rhizophagus irregularis*), S4 = souche 4 (*Glomus mosseae*), T = coque d'arachide sans inoculation)

## Partie expérimentale

### 6.3 Discussion du maïs

Les analyses ont été réalisées sur des données ayant une seule observation ce qui diminue la puissance des tests mais aussi cela peut expliquer les résultats non significatifs.

#### 6.3.1 Nombre de spores

Le nombre de spores moyen observés sur le maïs se situe entre 5,25 et 336,25 spores/100 g de sol (Tableau 5). Dans la littérature des résultats semblables sont retrouvés. Selon Selvakumar et al. (2016), une étude en serre sur la propagation de champignons mycorhiziens sur maïs d'une durée de 120 jours (4 mois) donne des résultats non significatifs entre les traitements inoculés et le témoin avec un nombre de spores qui va de 5 à 55 spores/100 g de sol ce qui est inférieur aux données de ce mémoire. D'autres études montrent des résultats supérieurs. Par exemple, une étude de Adeyemi et al. (2019) concernant une expérimentation d'une durée de 3 mois de développement des champignons du genre *Glomus* sur maïs a donné des résultats de moyennes du nombre de spores de 596 spores/100 g de sol. Selon Koffi et al. (2021), Fasusi et al. (2021) et Meddich et al. (2017), des expérimentations d'une durée respectivement de 1 mois et demi, 2 mois et 1 mois ont montré un nombre de spores allant respectivement de 609-1531 (*Glomus*), 3300-4500 (*Glomus mosseae* et *Glomus intraradices*) et 427-2445 spores /100 g de sol (*Glomus*).

Attention, ces différences de résultats peuvent s'expliquer par le faible nombre d'observation de cette étude. Mais surtout par le fait que le substrat n'est pas le même. En effet, l'utilisation de coque d'arachide n'est, à notre connaissance, jamais mentionnées dans la littérature et les études citées ont utilisé des types de sol qui différaient allant de sol sablo argileux-sablo pierreux à sablonneux. De plus, seules les études de Selvakumar et al. (2016) et de Fasusi et al. (2021) démarrent avec un sol stérilisé de base les autres ayant utilisée des échantillons de sol non stérilisés. La profondeur de prélèvement des inocula diffère aussi selon les expérimentations : 0-15 cm (Fasusi et al., 2021), 0-30 cm (Koffi et al., 2021) et 0-20 cm (Adeyemi et al., 2019).

#### 6.3.2 Fréquence de mycorhization

Les fréquences de mycorhization moyennes dans ce mémoire vont de 3,26 à 23,55 % (Tableau 7) (avec des fréquences de mycorhization allant de 0,04% à 85,75%). Aucune différence significative n'a été observée dans les résultats. Mais dans la littérature scientifique on retrouve des fréquences moyennes similaires dans des zones agroécologiques (20,42%) selon Bossou et al. (2019). D'autres études montrent des résultats supérieurs, par exemple 40-78% selon Adeyemi et al. (2019) lors d'une expérimentation d'une durée de 3 mois sur le maïs, et selon Meddich et al. (2017) une fréquence allant de 30 à 100% sur un cycle de culture du maïs.

#### 6.3.3 Intensité de mycorhization

Les moyennes de l'intensité de mycorhization des 4 souches se situent entre 43,75 % et 73,75 % (Tableau 9). Ce qui est une intensité qui se situe dans la fourchette des articles scientifiques, qui se rapprochent de la thématique du sujet de ce mémoire. Effectivement, une expérimentation d'une durée de 4 mois, ayant le but de comparer le potentiel de propagation de la culture de maïs avec celui du sorgho, a montré une intensité (essentiellement du genre *Glomus*) se situant entre 10 à 70 % pour le maïs (Selvakumar et al., 2016). Deux autres études réalisées sur une durée plus courte, 1 mois et 1 mois et demi, ont montré une intensité sur la culture de maïs de respectivement 6 à 56 % et < 20 %. La première étude concernait la comparaison de la propagation des CMAs sur une culture de maïs dans un sol de deux palmeraies différentes du Maroc, et la deuxième faisait une comparaison entre la propagation de CMAs sur une culture de maïs sur un sol provenant d'une ancienne décharge et un sol hors décharge en Côte d'Ivoire (Abdelilah et al., 2017 ; Koffi et al., 2021).

Aussi, selon Bossou et al. (2019), des prélèvements en zone agroécologique sur des cultures de maïs ont révélés une dominance du genre *glomus* parmi d'autres CMA avec une intensité faible (< 2,47 %) (Bossou et al., 2019).

**En conclusion, le maïs pourrait être une plante multiplicatrice plus adéquate que le sorgho pour la production délocalisée dans les conditions de Ngoye des champignons mycorhiziens. Comme prouvé par Selvakumar et al (2016), qui ont réalisé une expérimentation comparant le maïs et le sorgho comme plante multiplicatrice des champignons mycorhiziens.**

## 7 Evaluation au champ de l'efficacité de l'inoculum produit sur différentes spéculations maraîchères

### 7.1 Résultats

Une ANOVA 2 croisée mixte a été utilisé pour traiter les données des observations concernant le poids de matière sèche et les rendements. Tandis qu'une ANOVA 3 de type croisée mixte a été utilisée pour l'analyse des données de hauteurs.

#### 7.1.1 Poids de matière sèche du poivron

Les 2 facteurs testés sont le traitement (=souche dans les tableaux d'analyse) et le site. La p-valeur des deux facteurs est supérieure à 0,05 (Tableau 10). Donc, peu importe le traitement appliqué sur le poivron le poids de matière sèche des plantes ne montre pas de différence significative par rapport au poivron non inoculé.

Tableau 10 : ANOVA 2 pour le poids de matière sèche du poivron

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
souches	6	2922.818675	487.136446	2.01	0.1168
sites	3	949.819557	316.606519	1.31	0.3023

#### 7.1.2 Rendement du poivron

Les 2 facteurs testés sont le traitement et le site. La p-valeur des deux facteurs est supérieure à 0,05 (Tableau 11). Donc, peu importe le traitement appliqué sur le poivron, le rendement ne montre pas de différence significative par rapport au poivron non inoculé.

Tableau 11 : ANOVA 2 pour le rendement du poivron

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
souches	6	809285.7143	134880.9524	1.79	0.1575
sites	3	248125.0000	82708.3333	1.10	0.3753

#### 7.1.3 Hauteur des différentes spéculations

Les moyennes des hauteurs des différents traitements observées par spéculations se situent (Tableau 12) :

- pour le poivron : entre 25,44 et 31,32 cm ;
- pour la tomate : entre 22,74 et 30,81 cm ;
- pour l'aubergine douce : entre 10,40 et 16,14 cm
- pour l'aubergine amère : entre 9,21 à 16,85 cm

## Partie expérimentale

Tableau 12 : Moyennes des hauteurs en cm (A=poivron, B=tomate, C=aubergine douce, D=aubergine amère)

Traitements	Moyennes des hauteurs (cm)	Écarts types
S1 ( <i>Glomus intraradices</i> )	29,70	7,29
S2 ( <i>Glomus aggregatum</i> )	31,32	6,41
S3 ( <i>Glomus mosseae</i> )	25,44	7,95
S4 ( <i>Glomus fasciculatum</i> )	29,48	6,84
SM (Souches mélangées)	28,05	7,30
T+ (Témoin avec coque d'arachide uniquement)	27,26	7,01
T- (Témoin)	26,13	6,81

A

Traitements	Moyennes des hauteurs (cm)	Écarts types
S1 ( <i>Glomus intraradices</i> )	15,16	6,717
S2 ( <i>Glomus aggregatum</i> )	13,87	4,41
S3 ( <i>Glomus mosseae</i> )	10,40	3,69
S4 ( <i>Glomus fasciculatum</i> )	14,27	4,14
SM (Souches mélangées)	16,14	4,46
T+ (Témoin avec coque d'arachide uniquement)	12,85	6,73
T- (Témoin)	13,41	4,26

C

Traitements	Moyennes des hauteurs (cm)	Écarts types
S1 ( <i>Glomus intraradices</i> )	30,16	10,59
S2 ( <i>Glomus aggregatum</i> )	22,74	11,49
S3 ( <i>Glomus mosseae</i> )	30,10	11,52
S4 ( <i>Glomus fasciculatum</i> )	24,86	10,38
SM (Souches mélangées)	29,91	10,74
T+ (Témoin avec coque d'arachide uniquement)	30	12,01
T- (Témoin)	30,81	10,99

B

Traitements	Moyennes des hauteurs (cm)	Écarts types
S1 ( <i>Glomus intraradices</i> )	16,38	7,86
S2 ( <i>Glomus aggregatum</i> )	13,55	6,85
S3 ( <i>Glomus mosseae</i> )	12,79	5,94
S4 ( <i>Glomus fasciculatum</i> )	16,85	8,96
SM (Souches mélangées)	9,21	3,61
T+ (Témoin avec coque d'arachide uniquement)	10,09	6,49
T- (Témoin)	15,80	7,94

D

Un modèle linéaire généralisé (GLM) a été utilisé pour l'analyse des données de hauteurs. Ce modèle a été sélectionné car les données étaient de type non balancé. En effet, comme dit précédemment, selon le site les spéculations différaient créant ce déséquilibre. Les 3 facteurs sur lesquels la GLM a été réalisée sont : bloc, spéculation et traitement (appelé souche lors des analyses).

Selon le Tableau 13, les facteurs souche et spéculation ont une p-valeur significative. Mais plus important, les deux interactions : « souche\*spéculation » et « spéculation \* sites » le sont aussi. Dans ce cas-ci, l'intérêt se portera sur les interactions.

Tableau 13 : GLM sur les données de hauteurs

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
souche	6	19.1972148	3.1995358	5.64	<.0001
speculation	3	388.5706255	129.5235418	228.45	<.0001
sites	3	50.9181677	16.9727226	29.94	<.0001
souche*speculation	18	64.3474836	3.5748602	6.31	<.0001
souche*sites	18	15.4815732	0.8600874	1.52	0.0764
speculation*sites	5	120.2343094	24.0468619	42.41	<.0001

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for souche*sites as an Error Term					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
souche	6	19.19721485	3.19953581	3.72	0.0139

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for speculation*sites as an Error Term					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
speculation	3	388.5706255	129.5235418	5.39	0.0504

L'interaction entre les facteurs souche et spéculation sera décomposée en 4 ANOVA 2. Une ANOVA 2 sera réalisée pour chaque spéculation avec bloc et souche comme facteurs.

#### 7.1.3.1 Poivron

Le Tableau 14 montre une différence significative de l'interaction « souche\*sites », ceci signifie que selon le site l'effet des traitements sera différent sur le poivron. Les tests supplémentaires de Dunnett (Tableau 15) montrent ces différences.

Tableau 14 : ANOVA 2 sur les hauteurs du poivron

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
souche	6	13.77188043	2.29531341	5.75	<.0001
sites	3	33.59871962	11.19957321	28.04	<.0001
souche*sites	18	28.86419143	1.60356619	4.02	<.0001

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for souche*sites as an Error Term					
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
souche	6	13.77188043	2.29531341	1.43	0.2570

Tableau 15 : ANOVA 1 + Tests de Dunnett sur les différentes parcelles (poivron), S2=Glomus aggregatum, T=témoin, SM=souches mélangées

Poivron		
Parcelle	Différence significative entre les traitements	Quel traitement ?
P1	Oui	*
P2	Oui	S2 est meilleur que T-
P3	Oui	SM est meilleur que T-
P4	Oui	*

\* Il arrive qu'une méthode de structuration des moyennes ne parviennent pas à détecter de différences significatives alors que l'ANOVA oui. Ceci est dû au fait que l'ANOVA est plus puissante que ces méthodes.

## Partie expérimentale

Chaque site présente des résultats différents de significativité des différences entre les traitements, il est difficile de dire quel traitement est le meilleur mais un effet est présent des CMAs sur le piment.

### 7.1.3.2 Tomate

Le Tableau 16 montre une différence significative de l'interaction « souche\*sites », ceci signifie que selon le site l'effet des traitements sera différent sur la tomate. Les tests supplémentaires de Dunnett (Tableau 17) montrent ces différences.

Tableau 16 : ANOVA 2 sur les hauteurs de la tomate

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
souche	6	17.29227067	2.88204511	3.07	0.0069
sites	2	40.83252877	20.41626439	21.72	<.0001
souche*sites	12	25.28075545	2.10672962	2.24	0.0113

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for souche*sites as an Error Term					
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
souche	6	17.29227067	2.88204511	1.37	0.3026

Tableau 17 : ANOVA 1 + Tests de Dunnett sur les différentes parcelles (tomate)

Tomate		
Parcelle	Différence significative entre les traitements	Quel traitement ?
P1	Non	/
P2	Oui	*
P3	Non	/

\* Il arrive qu'une méthode de structuration des moyennes ne parviennent pas à détecter de différences significatives alors que l'ANOVA oui. Ceci est dû au fait que l'ANOVA est plus puissante que ces méthodes.

Les CMAs ne semblent pas donner de meilleur résultat que le témoin (Tableau 17). Concernant la parcelle 2, rien ne peut être conclu car cette significativité peut être négative. C'est à dire qu'un des traitements ou plusieurs soient moins bon que le témoin et vice-versa.

### 7.1.3.3 Aubergine douce

Le Tableau 18 montre une différence significative de l'interaction « souche\*sites », ceci signifie que selon le site l'effet des traitements sera différent sur l'aubergine douce. Les tests supplémentaires de Dunnett (Tableau 19) montrent ces différences.

Tableau 18 : ANOVA 2 sur les hauteurs de l'aubergine douce

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
souche	6	9.54046878	1.59007813	5.22	<.0001
sites	1	22.00766334	22.00766334	72.22	<.0001
souche*sites	6	7.22483414	1.20413902	3.95	0.0011

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for souche*sites as an Error Term					
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
souche	6	9.54046878	1.59007813	1.32	0.3721

Tableau 19 : ANOVA 1 + Tests de Dunnett sur les différentes parcelles (aubergine douce), SM=souches mélangées, T+=témoin avec coque d'arachide uniquement, S3=Glomus mosseae

Aubergine douce		
Parcelle	Différence significative entre les traitements	Quel traitement ?
P2	oui	SM meilleur que le témoin et S3 et T+ sont moins bon que le témoin
P4	Non	/

Chaque site présente des résultats différents de significativité de différences entre les traitements il est difficile de dire quel traitement est le meilleur mais un effet est présent des CMAs sur l'aubergine douce.

#### 7.1.3.4 Aubergine amère

Le Tableau 20 montre une différence significative de l'interaction « souche\*sites » ceci signifie que selon le site l'effet des traitements sera différent sur l'aubergine amère. Les tests supplémentaires de Dunnett (Tableau 21) montrent ces différences.

Tableau 20 : ANOVA 2 sur les hauteurs de la spéculation aubergine amère

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
souche	6	32.40684714	5.40114119	11.33	<.0001
sites	2	70.04121692	35.02060846	73.44	<.0001
souche*sites	12	11.98256330	0.99854694	2.09	0.0188

Tests of Hypotheses Using the Anova MS for souche*sites as an Error Term					
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
souche	6	32.40684714	5.40114119	5.41	0.0064

Tableau 21 : ANOVA 1 + Tests de Dunnett sur les différentes parcelles (aubergine amère), T+=témoin avec coque d'arachide uniquement, SM=souches mélangées

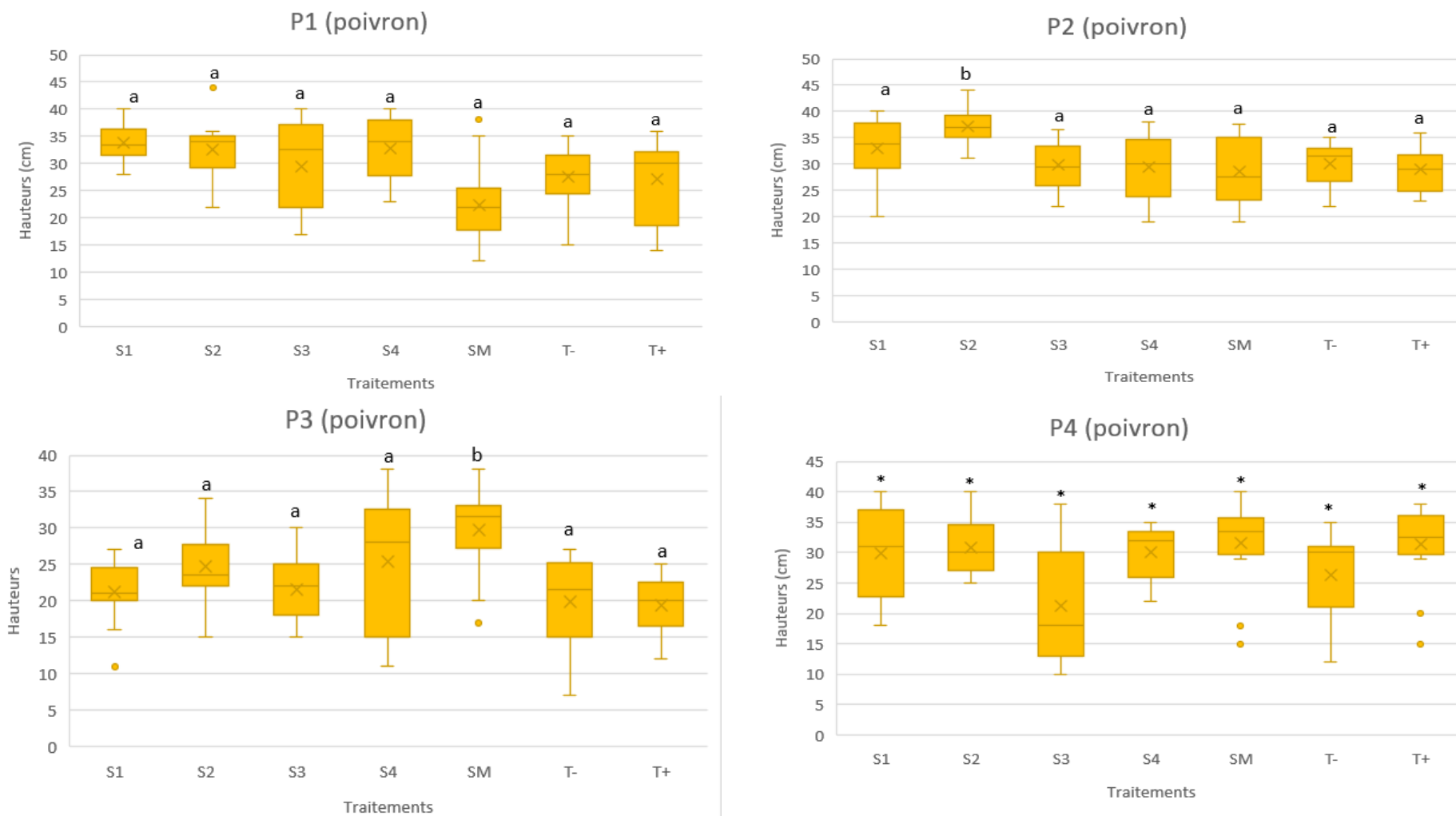
Aubergine amère		
Parcelle	Différence significative entre les traitements	Quel traitement ?
P2	Non	/
P3	Oui	SM est moins bon que le témoin
P4	Oui	T+ est moins bon que le témoin

Chaque site présente des résultats différents de significativité de différences entre les traitements mais ce qui apparait, est que les CMAs n'ont pas montré d'effet significativement différent du témoin.

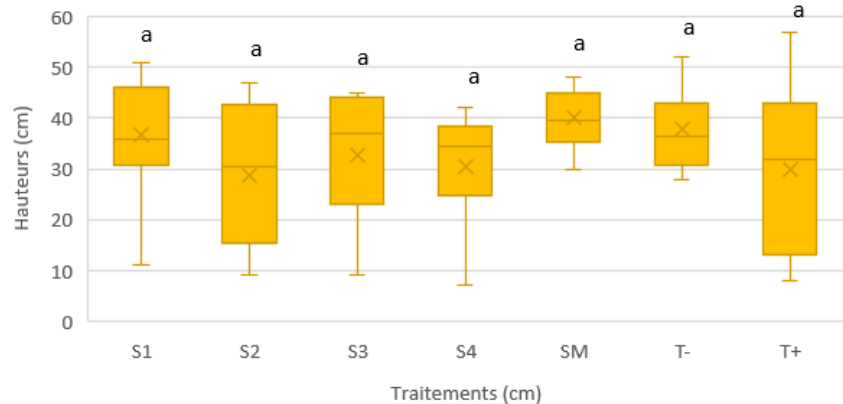
## Partie expérimentale

### 7.1.4 Récapitulatif hauteurs

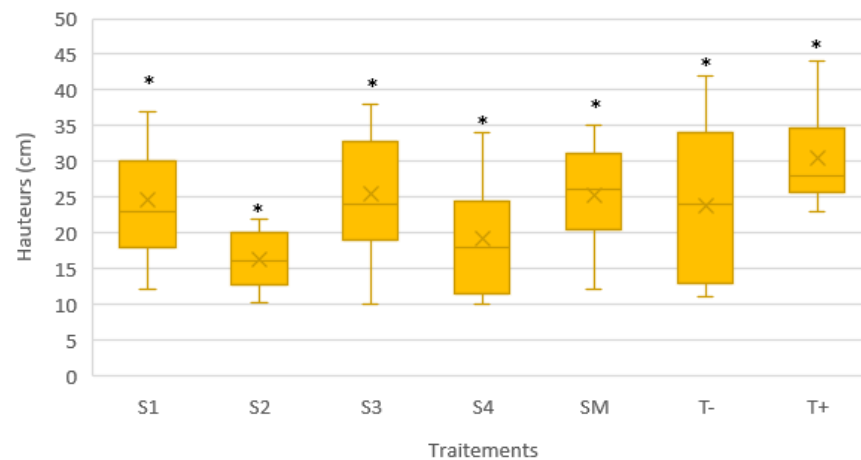
La Figure 36 présente une synthèse graphique de l'ensemble des résultats obtenus concernant les hauteurs, par spéculatation et par parcelle.



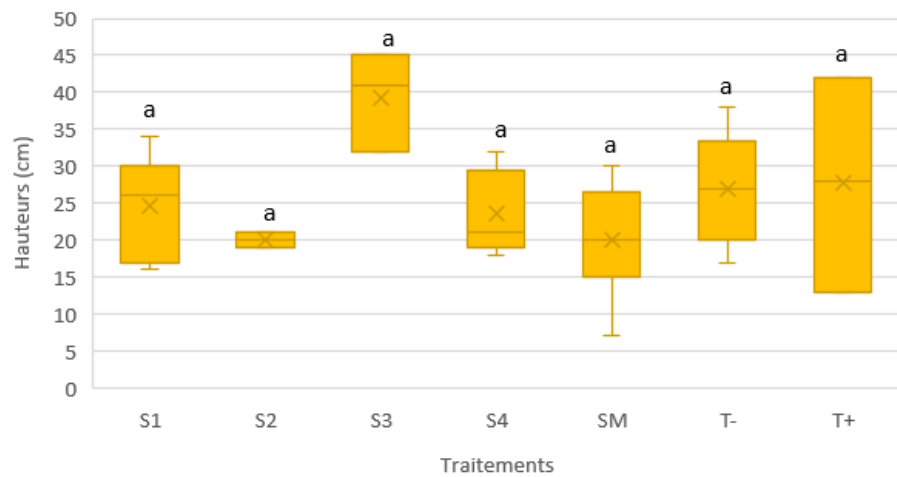
P1 (tomate)



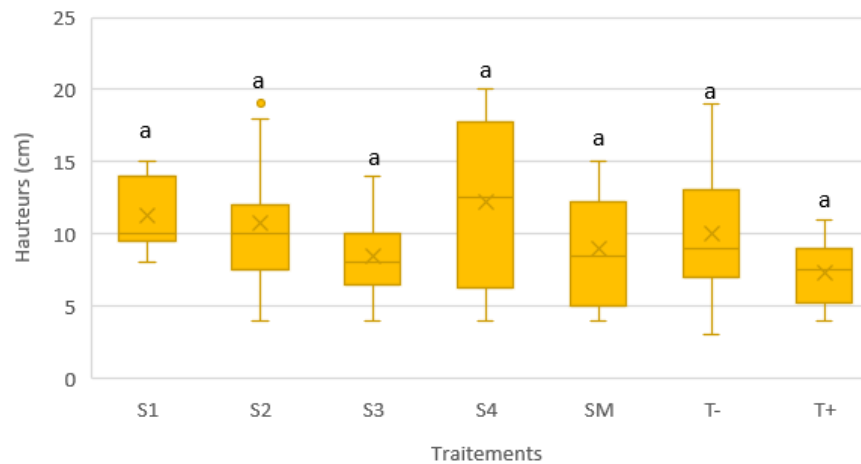
P2 (tomate)



P3 (tomate)



P2 (aubergine amère)



Partie expérimentale

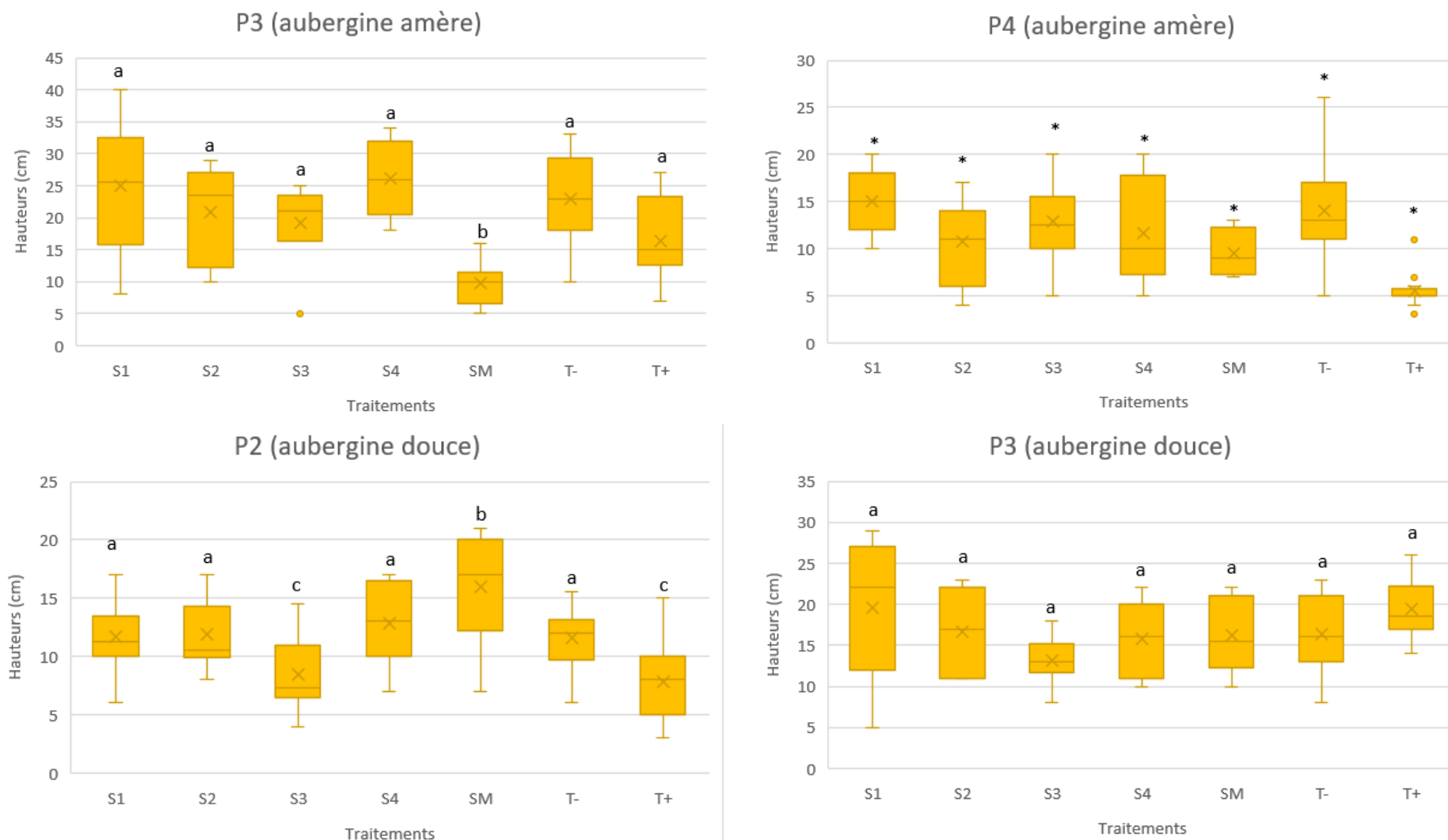


Figure 36 : Hauteurs des plants de poivron, tomate, aubergine douce et amère sur les périmètres 1, 2, 3 et 4 en fonction des souches (lettres (a, b, c) indique s'il y a une différence significative entre les souches, S1 (Glomus intraradices), S2 (Glomus aggregatum), S3 (Glomus mosseae), S4 (Glomus fasciculatum), SM (Souches mélangées), T+ (Témoin avec coque d'arachide uniquement), T- (Témoin))

## 7.2 Discussion

### 7.2.1 Poids de matière sèche et rendement

Peu de résultats significatifs ont été obtenus pour l'expérimentation par rapport à tout ce qui a été mis en place et toutes les observations qui devaient être récoltées. Ceci s'explique par le fait que lors de mon arrivée au Sénégal, la préparation du sol pour l'expérimentation avait pris du retard, ce qui a décalé toute l'expérimentation. De ce fait, je n'ai pas pu récolter moi-même toutes les données avant mon retour en Belgique. Des personnes locales ont dû s'en occuper. Ces personnes n'ont malheureusement pas eu la rigueur que j'aurais souhaité pour la collecte des observations. Certaines données ont été jugées aberrantes et inexploitable, elles n'ont donc pas pu être prises en compte dans les analyses. C'est notamment le cas pour les mesures du poids de la matière sèche et du rendement pour lesquels seules les données des plants de poivron ont pu être utilisées.

### 7.2.2 Hauteurs des différentes spéculations

#### Poivron

Dans la présente étude les moyennes des hauteurs des différents traitements vont de 25,44 cm à 31,32 cm (Tableau 12A). Une différence significative est observée pour le traitement S2 et SM respectivement dans la parcelle 2 et la parcelle 3. Cela veut dire que pour ces périmètres les souches ont montré une amélioration de la hauteur des plants de poivron. Selon Ozgonen et al., (2007), les CMAs influencent de manière significative la hauteur des plants de poivron. Les plants atteignent en moyenne une hauteur de 55,4 cm sous *Glomus fasciculatum* et 51,9 cm sous *Glomus mosseae* en 2 mois de culture. Une autre étude de Tanwar et al. (2013) dit que les plants de poivron ont atteint une taille de 54 cm en moyenne sous l'effet de *Glomus mosseae*. Ceci montre que les CMAs n'ont pas pu exprimer leur vrai potentiel sur les différentes parcelles.

#### Tomate

Pour la tomate, les moyennes des hauteurs des différents traitements sont entre 24,86 et 30,80 cm (Tableau 12B). Seul un des périmètres a montré une différence significative entre les différents traitements, mais comme dit précédemment, le test de Dunnett n'a pas été assez sensible pour donner un résultat discutable. Mais, la remarque générale montre une non-significativité des traitements sur la tomate. Pourtant, dans la littérature, la taille des plants est augmentée de 30 à 40 % sous traitements de CMAs lors de réalisation d'une expérimentation d'une durée de 4 mois (Julianus et al., 2019). Dans une autre étude, où 2 cycles de tomate ont été réalisés (2015-2016 et 2016-2017), les plants de tomates ont atteint une taille moyenne allant de 68 à 83 cm (Hegazy et al., 2019). Ces résultats pourraient être expliqués par le fait que la tomate était la spéculiation avec le plus de plants morts. Mais aussi le repiquage a eu lieu à un stade tardif (plus de 10 feuilles).

#### Aubergine douce et aubergine amère

Les valeurs moyennes de hauteurs de l'aubergine douce et amère sont de respectivement 10,40 à 16,14 cm (Tableau 12C) et 10,09 à 16,85 cm (Tableau 12D). Pour l'aubergine douce sur un des deux périmètres montre une amélioration de ces performances sous le traitement du mélange des souches tandis que l'aubergine amère ne montre pas d'amélioration de sa hauteur. Contrairement à ce qui est retrouvé dans l'expérimentation, ici il est retrouvé dans la littérature des résultats qui montrent un effet des CMAs sur la hauteur ou la croissance en générale du genre *Solanum*. Selon une étude, réalisée par Shupta et al. (2022), ayant pour but d'évaluer l'efficacité du CMA, *Glomus mosseae*, pour contrôler la maladie causée par une bactérie (*Ralstonia solanacearum*) provoquant le flétrissement de l'aubergine (*Solanum melongena* L.), la hauteur du plant d'aubergine en moyenne était

significativement différente du témoin ne contenant pas le CMA (43,5 cm) (Shupta et al., 2022). Selon Matsubara et al. (1995), les hauteurs des plants atteignent, après une expérimentation d'une durée de 3 mois 63 à 65 cm. Une autre étude concernant l'aubergine amère, *Solanum aethiopicum*, traitant de la réponse de 4 cultivars de cette aubergine aux CMAs. L'étude traite notamment de *Glomus aggregatum* et de *Glomus mosseae*. La croissance de l'aubergine est améliorée par l'application de ces CMAs (Diop et al., 2003).

**En conclusion, les CMAs ne montrent pas beaucoup d'amélioration du paramètre hauteur dans ce travail. Ceci peut s'expliquer essentiellement par le fait qu'après réalisation de l'analyse de sol de chaque parcelle, la concentration en azote total de celles-ci tourne autour de 0,26 et 1,05 g/Kg sachant que la norme au Sénégal avec une « très bonne » concentration en azote total est supérieure à 0,45 g/Kg et une « bonne » concentration se situe entre 0,3 et 0,45 g/Kg (Institut numérique, 2014). Ce qui fait que les parcelles sont riches en azote et ceci est défavorable au bon développement des CMAs (Egli et al., 2002 ; Hamel, 2016 ; Siegenthaler, s.d.). Les plants de tomate et d'aubergine amère ont montré une mortalité élevée, ce qui a affecté la puissance des analyses. Cette mortalité est due au repiquage qui s'est passé au mauvais stade de la plante mais aussi aux attaques multiples de mammifères. Par ailleurs, les mammifères ont attaqué les plants de poivron aussi. Malgré le fait que les plants de poivron aient repris, ceux-ci ont pris du retard de croissance par rapport aux autres. Le poids de matière sèche et le rendement aurait pu pallier à ce manque de précision des données de la hauteur.**

### 7.3 Obstacles sur le terrain

Une mise en situation du cadre dans lequel ce mémoire a été réalisé est nécessaire.

Tout d'abord, le village de Ngueye Ngueye est isolé des villes sans route praticable pour y accéder. Le seul moyen pour y arriver, ce sont des pistes dessinées par les voitures ou charrettes qui les empruntent régulièrement. L'accès à l'extérieur du village est très difficile car les taxis sont rares ainsi que les motos. Souvent la charrette est utilisée mais la distance parcourue est alors très courte et prend énormément de temps.

La connexion est presque impossible à établir : il n'y a que les applications légères telles que « WhatsApp » qui fonctionnent de manière limitée. Le seul moyen d'effectuer des recherches bibliographiques est le déplacement vers la ville en voiture.

Concernant les essais, sur place, plusieurs problèmes ont dû être résolus :

- la serre était disponible sans problème mais pas le matériel pour commencer ;
- les parcelles étaient de taille différente et à des endroits différents ;
- les agriculteurs ont dû être mobilisés et seulement ensuite, la réalisation des planches a pu commencer ;
- les pépinières implantées précédemment n'avaient pas toutes survécu avec les 4 spéculations ;
- le compost n'était pas prêt dans toutes les parcelles.

En conclusion, ces différents obstacles ont mené à la réalisation d'une expérimentation multisite mais aussi à l'abandon d'une ou deux des spéculations prévues par endroit, ce qui a mené à des complications sur le terrain mais aussi dans les calculs statistiques.

## IV. Partie sociale

### 1 Sensibilisation et formation

La sensibilisation et la formation concernant le projet avaient déjà commencé avant le début du mémoire. Cependant, c'était très théorique. J'ai donc opté à mon arrivée pour la sensibilisation et la

formation combinée, et ce par la démonstration. Dans le sens où des formations par la démonstration ont été réalisées sur place pour chaque étape de l'utilisation de l'inoculum sur le terrain avec l'aide des techniciens et des villageois sur place.



Figure 37 : Explication de l'application de l'inoculum dans les poquets

C'est-à-dire que chaque étape du processus d'installation des cultures était expliquée théoriquement et ensuite réalisée sur le terrain par le technicien ou moi-même devant les villageois. Par la suite, la place était laissée aux villageois pour la reproduction de ce qu'ils avaient observé. Ceci a été fait pour l'application de l'inoculum sur le champ (Figure 37) ou la réalisation et l'application de produit.



Figure 38 : Mise en place des planches sur l'un des 4 périmètres

Aussi, des formations de mise en place de planche et de respect d'écart entre les lignes et entre les plants en plus de conseils sur le désherbage ont été faites (Figure 38).

Le suivi était long et fastidieux mais très efficace car les premiers résultats ont été observés directement sur place. Par exemple, l'application du système planche sur le terrain personnel des villageois de leur propre initiative. Ou encore, la demande d'inoculum pour son application sur leurs cultures.

Ces formations ont permis l'amélioration de l'entente entre l'équipe sur place et les villageois, car elle a permis le partage de connaissance et d'expérience des deux côtés.

En conclusion, l'expérience montre que la formation par la démonstration est un moyen pour faire passer un message ou une technique importante. Pour aider à cela, après la fin de l'expérience, une BD a été dessinée par moi-même représentant une fiche d'utilisation de l'inoculum (annexe 4).

## V. Conclusion et perspectives

Il a été considéré d'utiliser les champignons mycorhiziens à arbuscules et vésicules comme outils d'amélioration des paramètres de croissance et de rendements. Ceux-ci pourraient permettre de quitter l'utilisation de fertilisants et d'amendements chimiques, mais aussi, de sensibiliser et de former les utilisateurs actuels à se passer de ces produits chimiques.

La synthèse de ce travail peut déjà délivrer quelques informations sur l'efficacité de cette méthode malgré le fait que de plus amples études et expérimentations soient nécessaires.

Les champignons mycorhiziens à arbuscules sont une symbiose existante depuis des millions d'années. Celle-ci va permettre l'amélioration de la croissance de la plante et de son rendement. Bien d'autres avantages sont procurés par cette symbiose, comme cité précédemment dans le travail (Sahraoui, 2013).

En serre, la propagation de ces champignons semble être plus efficace sur le maïs que sur le sorgho. Cependant une seule observation ayant été réalisée, il faut envisager dans une prochaine saison d'essais de faire plus d'observations et de ce fait de renforcer la puissance des tests statistiques.

En plein champ, l'influence des champignons mycorhiziens sur les trois paramètres choisis (hauteur, poids de matière sèche et rendement) n'a pas pu être totalement étudiée suite à des complications techniques. Cependant, le facteur hauteur a été analysé de manière complète et n'a pas montré assez de résultats probants contrairement à ce qu'on retrouve en littérature. Il ne faut pas oublier que c'est la première application par les villageois en plein champ de l'inoculum créé en serre. Le mieux serait de réaliser les mêmes expériences de nouveau avec l'élimination des différents problèmes cités dans les parties précédentes. Cela serait une manière de confirmer les résultats positifs obtenus et d'appuyer ou de corriger les autres résultats de ce travail.

La sensibilisation et la formation sont deux choses essentielles pour la réussite de l'intégration et de l'application d'une nouvelle méthode. Pour ce faire la démonstration sur le terrain des diverses étapes de fabrication et/ou d'application de ce produit s'est montrée efficace. La BD, créée dans le but d'aider au maintien des connaissances au fil du temps, sera traduite en langues locales, imprimée et distribuée. Cela serait intéressant d'évaluer son utilité et si celle-ci correspond réellement aux BD locales.

Une étude économique de la commercialisation de l'inoculum produit à Ngoye a été réalisée par une étudiante faisant son mémoire. Celle-ci en a conclu une rentabilité du produit, et donc sa commercialisation débutera dès la saison prochaine.

La combinaison de l'inoculum avec d'autres microorganismes, amendement, fertilisants tels que des bactéries ou du compost serait intéressante à étudier.

L'application de l'inoculum sur de très grandes surfaces, ainsi que la durée de vie de celui-ci selon les cultures et le travail du sol effectué sur un champ, restent à étudier.

Dans ce mémoire l'effet de l'inoculum a été testé uniquement sur des solanacées en champ. Or au Sénégal le mil, le sorgho et le maïs représentent une part importante de la production céréalière. En effet celle-ci représente la moitié des superficies cultivées dont le mil 66 %, le sorgho et le maïs 14 % (Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire, 2016). Il serait donc bon de considérer des essais intégrant ces céréales.

## VI. Contribution personnelle

Tous les essais réalisés et le suivi des cultures (dans ce mémoire) en champ et en serre ont été mis en place par moi-même avec l'aide des villageois et de l'équipe encadrante. La récolte d'une partie (hauteurs, une partie des rendements) des données a été aussi assurée par moi-même.

L'ensemble des analyses statistiques, la synthèse des résultats, les conclusions et la rédaction de ce mémoire ont été fait par moi.

À l'issue de ce TFE, une BD (annexe 4) a été dessinée par moi-même expliquant l'application de l'inoculum sur le champ. Cette initiative personnelle vient de l'observation sur le terrain de l'utilisation de BD pour faire passer d'autres informations et de l'appréciation des villageois de ce système.

## VII. Bibliographie

- Abdelilah M., Ait El Mokhtar M., Wahbi S. & Boumezzough A., 2017. Évaluation des potentialités mycorrhizogènes en lien avec les paramètres physico-chimiques des sols de palmeraies du Maroc (Marrakech et Tafilalet). *Cahiers Agricultures* **26**, 45012, DOI:[10.1051/cagri/2017044](https://doi.org/10.1051/cagri/2017044).
- Adeyemi N., Olubode A. & Atayese M., 2019. Identification and relative abundance of native arbuscular mycorrhizal fungi associated with oil-seed crops and maize (*Zea mays* L.) in derived savannah of Nigeria. *Acta Fytotechnica et Zootechnica* **2**, DOI:[10.15414/afz.2019.22.03.84-89](https://doi.org/10.15414/afz.2019.22.03.84-89).
- Agriculture au Cameroun, 2020. Fiche Technique : Culture de la Tomate (*Lycopersicum esculentum*).
- ANSD, 2018. Situation économique et sociale du Sénégal 2017-2018  
[http://www.ansd.sn/ressources/publications/9-SES-2017-2018\\_Agriculture.pdf](http://www.ansd.sn/ressources/publications/9-SES-2017-2018_Agriculture.pdf), (14/07/2022)
- ANSD, 2019. Rapport des Enquêtes de Suivi de la Pauvreté.  
[http://www.ansd.sn/index.php?option=com\\_ansd&view=titrepublication&id=40](http://www.ansd.sn/index.php?option=com_ansd&view=titrepublication&id=40), (14/07/2022).
- ANSD, 2022. Agence Nationale de Statistique et de la Démographie. <http://www.ansd.sn/>, (01/08/2022).
- Arvalis, s.d. Maladies responsables de la fonte des semis. *Les Fiches Accidents - ARVALIS-infos.fr*.  
<http://www.fiches.arvalis-infos.fr>
- Arvalis, s.d. Millet perlé + Trèfle d'Alexandrie - Fiches couverts végétaux ARVALIS. *Les Fiches ARVALIS*.  
[http://www.fiches.arvalis-infos.fr/couverts/fiche\\_couvert.php?mode=fc&type\\_couv=melanges&id\\_couvert=364](http://www.fiches.arvalis-infos.fr/couverts/fiche_couvert.php?mode=fc&type_couv=melanges&id_couvert=364)
- Barro Samb safietou, 2021. Analyse du marché des céréales locales (mil et maïs) au Sénégal.
- 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. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* **13**(2), 597–609, DOI:[10.4314/ijbcs.v13i2.2](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.2).
- Bousquet N., 2021. L'histoire du maïs en 4 actes. <https://www.arvalis-infos.fr/le-ma-s-9-000-ans-d-histoire-@/view-20550-arvarticle.html>, (16/06/2022).
- Brundrett M.C. & Abbott L.K., 1995. Mycorrhizal fungus propagules in the jarrah forest. *New Phytologist* **131**(4), 461–469, DOI:[10.1111/j.1469-8137.1995.tb03083.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1995.tb03083.x).
- Campos E.V.R., de Oliveira J.L., Pascoli M., de Lima R. & Fraceto L.F., 2016b. Neem Oil and Crop Protection: From Now to the Future. *Frontiers in Plant Science* **7**, DOI:<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01494>.
- Capital, July-14-2022. Conversion Euro / Franc CFA - BCEAO. *Capital.fr*.  
<https://www.capital.fr/devises/cours/EUR/XOF>, (14/07/2022).
- Caron M., 2018. Plant de tomate : structure et vie. *Futura*.  
<https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-tomate-reine-legumes-fruits-1675/page/3/>, (16/07/2022).
- Chantereau J., Cruz J.-F., Ratnadass A. & Trouche G., 2013. *Le sorgho*.

- Chevallier T., Razafimbelo T.M., Chapuis-Lardy L. & Brossard M. (éd), 2020. Carbone des sols en Afrique. Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles. *IRD and FAO* 274, DOI:<https://doi.org/10.4060/cb0403fr>.
- CIPF, 2021. Sorgho. <https://cipf.be/fr/sorgho>, (16/06/2022).
- ConsoGlobe, 2019. Comment réussir ses semis de poivrons et de piments année après année. *ConsoGlobe*. <https://www.consoglobe.com/reussir-semis-poivrons-piments-cg>, (14/07/2022).
- Cornec N., Gate P. & Castillon P., 2010. Le système racinaire des céréales à paille (363), 2.
- Costa Santos Baltazar Sofia, De Ridder Céline, Dumortier Pierr, Evrard Maud, Maïche Maryam, Nicolas Aurore, 2010. Rapport final : Projet interdisciplinaire: Biodiversité chez la tomate, stratégies de conservation et valorisation de la collection « Luc Fichot », Gembloux Agro Bio Tech
- DAG, 2016. Fiche technique : La tomate - *Solanum lycopersicum* L.
- DAG, 2018. Fiche technique en agriculture biologique-la culture du poivron en polynésie française.
- DAG, s.d. Fiche technique en agriculture biologique-la culture d'aubergine en polynésie française.
- Dardel C., 2014. Entre désertification et reverdissement du Sahel: diagnostic des observations spatiales et in situ.
- Diop M. & Bacci M., 2016. Durabilité des cultures horticoles-Zonages agro-climatiques des cultures horticoles dans la zone centre du Sénégal (No. 29).
- Diop T.A., Krasova-Wade T., Diallo A., Diouf M. & Gueye M., 2003. Solanum cultivar responses to arbuscular mycorrhizal fungi: growth and mineral status. *African Journal of Biotechnology* **2**(11), 429–433, DOI:[10.4314/ajb.v2i11.14865](https://doi.org/10.4314/ajb.v2i11.14865).
- DyTAES, 2020. Contribution aux politiques nationales pour une transition agroécologique au Sénégal.
- Egli S. & Brunner I., 2002. Les mycorhizes. Une fascinante biocénose en forêt **35**.
- Eldin Olivier, 1990. Croissance et développement du mil (*Pennisetum Typhoides*) sous deux conditions de fumure minérale [Rapport de stage]
- Encyclopédie de l'environnement, 2022. Le système racinaire des plantes: de l'ombre à la lumière. *Encyclopédie de l'environnement*.
- Fall Amadou Abdoulaye & Lo Mamadou, 2009. Etude de préférence sur les céréales : MIL, SORGHO, MAÏS ET FONIO AU Sénégal
- Fasusi O.A., Amoo A.E. & Babalola O.O., 2021. Propagation and characterization of viable arbuscular mycorrhizal fungal spores within maize plant (*Zea mays* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* **101**(14), 5834–5841, DOI:[10.1002/jsfa.11235](https://doi.org/10.1002/jsfa.11235).
- Fondio L., N'Tamon L., Hala F.N. & Dijdji H., 2008. Evaluation agronomique de six cultivars d'aubergine africaine (*Solanum* spp.) de la nouvelle collection des plantes légumières du CNRA. *Agronomie Africaine* **20**(1), 69–79, DOI:[10.4314/aga.v20i1.1737](https://doi.org/10.4314/aga.v20i1.1737).
- Forges M., 2015. Régulation des échanges de nutriments au sein de la mycorhize à arbuscules.
- Fortin J.-A., 2013. Les mycorhizes en agriculture et horticulture : Le modèle canadien. Jardins de France.

## Bibliographie

- Fortin J.A., Plenchette C. & Piché Y., 2016. *Les mycorhizes - L'essor de la nouvelle révolution verte*, 20.
- Ghosh S., Mali S.N., Bhowmick D.N. & Amit P.P., 2021. Neem oil as natural pesticide: Pseudo ternary diagram and computational study **98**(7), DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100088>.
- Green Seeds, s.d. AUBERGINE AFRICAINE JAXATU NGALAM – De bonnes graines pour vous. <https://greenseeds.net/fr/product/aubergine-africaine-jaxatu-ngalam/>
- Hamel C., 2016. Les mycorhizes en agriculture (<https://www.craaq.qc.ca/>)
- Han M., Opoku K.N., Bissah N.A.B. & Su T., 2021. Solanum aethiopicum: The Nutrient-Rich Vegetable Crop with Great Economic, Genetic Biodiversity and Pharmaceutical Potential. *Horticulturae* **7**(6), 126, DOI:[10.3390/horticulturae7060126](https://doi.org/10.3390/horticulturae7060126).
- Haougui A., Souniabe P.S., Doumma A. & Adam T., 2013. Evolution des populations des champignons endomycorhiziens sur les adventices de quatre sites maraîchers de la région de Maradi au Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* **7**(2), 554–565, DOI:[10.4314/ijbcs.v7i2.12](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i2.12).
- Hattou M.A., 2016. Effets de l'incorporation des huiles essentielles extraites du thym et de l'origan sur la productivité, les qualités nutritionnelles et physicochimiques du poivron.
- Hegazy M., Abou El-Yazied A., Abd El-Gawad H. & Abd-Elbaset A., 2019. EFFECT OF MYCORRHIZAE AND DIFFERENT RATES OF NPK ON VEGETATIVE GROWTH AND YIELD OF TOMATO PLANT UNDER NORTH SINAI CONDITIONS. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences* **27**, 691–697, DOI:[10.21608/ajs.2019.43683](https://doi.org/10.21608/ajs.2019.43683).
- Hernández-Verdugo S., Luna-Reyes R. & Oyama K., 2001. Genetic structure and differentiation of wild and domesticated populations of *Capsicum annum* (Solanaceae) from Mexico **226**, 129–142, DOI:<https://doi.org/10.1007/s006060170061>.
- Hiltbrunner J., Buchmann U., Vogelgsang S., Gutzwiller A. & Ramseier H., 2012. Le sorgho – une grande culture intéressante encore inconnue en Suisse. *Agrarforschung Suisse* 524–531.
- Hodgson L., 2020. Profondeur des racines des légumes - Jardinier paresseux. <https://jardinierparesseux.com/2020/05/21/profondeur-des-racines-des-legumes/>, (17/07/2022).
- INRA, s.d. Brochure : Le piment et le poivron. [http://transfaire.antilles.inrae.fr/squelettes/images/depliant\\_poivron.pdf](http://transfaire.antilles.inrae.fr/squelettes/images/depliant_poivron.pdf)
- Insee, s.d. Définition - Taux de pauvreté monétaire. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1320>
- Institut numérique, 2014. Analyse et interprétation des résultats d'analyse des sols.
- Jadoule Isabelle, 2021. La culture de la tomate du semis à la dégustation [Diapositives Powerpoint]. Extrait de <https://www.intradel.be/files/library/Jardin-Ressources-et-biocentre-GH/Jardin-peda/PDF-Formations/ppt-Tomates-jardin-ressources11avril21.pdf>
- Julianus P., Perrin B. & Chave M., 2019. Des tomates mycorhizées dès la pépinière pour favoriser la nutrition et la protection des plantes : développement d'un dispositif-pilote. *Cahier des Techniques de l'INRA* 7 p.
- Kabbej S., 2021. Changements climatiques en Afrique : quelles conséquences au niveau sécuritaire ? *IRIS*. <https://www.iris-france.org/161630-changements-climatiques-en-afrique-quelles-consequences-au-niveau-securitaire/>, (16/06/2022).

- Kadri boubacar K., Halilou H. & Karimou I., 2019. Culture du mil [*Pennisetum glaucum* (L) R. Br] et ses contraintes à la production: une revue. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* **13**(1), 503–524, DOI:[10.4314/ijbcs.v13i1.40](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.40).
- Keskin L., Paksoy M. & Türkmen Ö., 2010. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Applications On Eggplant Seedling Development.
- Koffi A.L., Devisme A.J.B., Kouadio K.-K.H., Kouassi A.L., Ettien D.J.B., Ndoye F. & Diouf D., 2021. Evaluation du Potentiel Mycorrhizien des sols Pollués de la Décharge M'Ploussou de Bonoua, Côte D'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* **15**(6), 2297–2313, DOI:[10.4314/ijbcs.v15i6.5](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i6.5).
- Kouressy M., Traoré S.B., Vaksmann M., Grum M., Maikano I., Soumaré M., Traoré P.S., Bazile D., Dingkuhn M. & Sidibé A., 2008. Adaptation des sorghos du Mali à la variabilité climatique. *Cahiers Agricultures* DOI:[10.1684/agr.2008.0189](https://doi.org/10.1684/agr.2008.0189).
- La Rédaction, 2018. Record historique de production de poivron.
- La VOIX de la Vallée, 2019. La culture du mil et du sorgho, les valeurs sûres de l'agriculture au Sénégal.
- La VOIX de la Vallée, 2021. Tomate industrielle au Sénégal, en résumé. *La VOIX de la Vallée*.
- Larousse, s.d. mil latin milium - LAROUSSE. <https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/mil/70258>
- Legba E., Aglinglo L., Houdégbé C., Francisco R., Fassinou Hotegni V.N. & Achigan-Dako E., 2020. *Fiche technique synthétique pour la production du poivron (Capsicum annum L.)*.
- Matsubara Y.-I., Tamura H. & Takashi H., 1995. Growth Enhancement and Verticillium Wilt Control by Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungus Inoculation in Eggplant **64**(3), 555–561.
- Meddich A., Mokhtar M.A.E., Wahbi S. & Boumezzough A., 2017. Évaluation des potentialités mycorrhizogènes en lien avec les paramètres physico-chimiques des sols de palmeraies du Maroc (Marrakech et Tafilalet). *Cah. Agric.* **26**(4), 45012, DOI:[10.1051/cagri/2017044](https://doi.org/10.1051/cagri/2017044).
- Meliani S. & Harche M.K., 2020. Etude de la germination, morphologie et physiologie de quatre variétés de piment (*Capsicum annum* L.) (Piment piquillo, Piment grec, Poivron california wonder, Peperone quadrato d'asti rosso) - *ProQuest* **29**(4), 1064–1076.
- Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire, 2016. Sénégal. *Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire*. <https://agriculture.gouv.fr/senegal>, (14/09/2022).
- Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, 2001. La culture et la production du mil et du sorgho au Sénégal : bilan-diagnostic et perspectives.
- Ministère de l'Agriculture (Niger), s.d. Techniques de production des cultures irriguées (Aubergine).
- Ministère de l'économie, des finances et du plan, 2018. Plan Sénégal Émergent - PAP 2019-2023. *Trésor Public du Sénégal*.
- Ministère de l'Europe et des Affaires Etrangères, 2016. Présentation du Sénégal. *France Diplomatie - Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères*.
- Mycoagra, s.d. État de la recherche sur les mycorhizes. *Mycoagra*.

## Bibliographie

- Ndao A., 2021. Être mobile, seule condition pour rester au village ? Exemples dans le bassin arachidier sénégalais Being mobile, the only condition to stay in the village? Examples in the Senegalese groundnut basin.
- Ndonda A.M., 2018. ÉVALUATIONS AGRONOMIQUES DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS LOCAUX SUR LA PRODUCTIVITÉ DU MANIOC (*Manihot esculenta* Crantz) EN SOLS DÉGRADÉS DES JACHÈRES HERBEUSES À KISANGANI/ R.D Congo (Thèses).
- Ngom Lamine, 2022. Optimisation du protocole de production délocalisé de champignons mycorhiziens sur la nouvelle unité de production de Ngoye, mémoire de fin d'études, Université IBA DER THIAM de Thiès (UIDT), soutenu en 2022
- Ngom Yacin, Touré Katim, Fall Ousseynou, Faye Amy, 2015. Etudes de la commercialisation des produits horticoles dans les régions de Thiès, Diourbel et Fatick : offre, demande, configuration des marchés et analyse économique et financière de la production et de la commercialisation
- Ouendeba B., 2011. Fiche de production et de commercialisation du sorgho, Mali = Production and Marketing of Sorghum, Mali. *USAID Mali Mission Awards*.
- Ozgonen H. & Erkilic A., 2007. Growth enhancement and Phytophthora blight (*Phytophthora capsici* Leonian) control by arbuscular mycorrhizal fungal inoculation in pepper 1682–1688.
- PROTA, s.d. *Solanum aethiopicum* L  
<https://www.prota4u.org/database/protav8.asp?fr=1&g=pe&p=Solanum+aethiopicum+L>
- République du Sénégal, 2018. Plan Sénégal Emergent (2019 - 2035). *Ministère des Finances et du Budget*.  
<http://minfinances.local/publication/plan-senegal-emergent-2019-2035/>, (18/07/2022).
- Sahraoui A.L., 2013. La Mycorhize à arbuscules : quels bénéfices pour l'homme et son environnement dans un contexte de développement durable ? *Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie* **26**, 06–19.
- Sall M (2015). Les exploitations agricoles familiales face aux risques agricoles et climatiques : stratégies développées et assurances agricoles. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse. 234 pages.
- Selvakumar G., Kim K., Walitang D., Chanratana M., Kang Y., Chung B. & Sa T., 2016. Trap Culture Technique for Propagation of Arbuscular Mycorrhizal Fungi using Different Host Plants. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* **49**(5), 608–613, DOI:[10.7745/KJSSF.2016.49.5.608](https://doi.org/10.7745/KJSSF.2016.49.5.608).
- SEMAE, s.d. Origine et caractéristiques du maïs. *SEMAE Pédagogie*. <https://www.semae-pedagogie.org/sujet/mais-origine-caracteristiques/>
- Sénégal export, 2020. L'aubergine : un marché très prometteur.  
<https://www.senegal-export.com/l-aubergine-un-marche-tres-prometteur.html>, (17/07/2022).
- Sénégal Export, s.d. Bref aperçu du Sénégal. <https://www.senegal-export.com/bref-aperçu-du-senegal.html>
- Service du développement rural, 2016. Fiche technique : Le poivron (*Capsicum annuum* L.)
- Shupta S.A., Chakraborty S., Akhtar S. & Khokon M.A.R., 2022. Improvement of Bacterial Wilt Tolerance in Eggplants by Endotrophic Mycorrhiza (*Glomus mosseae*). *Journal of the Bangladesh Agricultural University* **20**(1), 49–56, DOI:[10.5455/JBAU.130804](https://doi.org/10.5455/JBAU.130804).

- Siegenthaler G., s.d. Le sol de la vigne.  
<https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Agriculture/permaculture/Cours-sur-le-sol.pdf>
- Statista, 2022. Céréales : volume de production par type dans le monde 2022/2023. *Statista*.  
<https://fr.statista.com/statistiques/565119/production-totale-de-cereales-par-type-dans-le-monde/>,  
 (16/06/2022).
- Strullu D.-G., Diop T. & Plenchette C., 1997. fr: Constitution of in vitro collections: a proposed life cycle of *Glomus*. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie* **320**(1), 41–47,  
 DOI:[10.1016/S0764-4469\(99\)80085-7](https://doi.org/10.1016/S0764-4469(99)80085-7).
- Tanwar A., Aggarwal A., Kadian N. & Gupta A., 2013. Arbuscular mycorrhizal inoculation and super phosphate application influence plant growth and yield of *Capsicum annum*. *Journal of soil science and plant nutrition* **13**(1), 55–66, DOI:[10.4067/S0718-95162013005000006](https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000006).
- Thierno Gaye A., Lo H.M., Sakho-Djimbira S., Sèye Fall M. & Ndiaye I., 2015. Résilience au changement climatique : Revue sur le contexte socioéconomique, politique et environnemental du Sénégal.
- Thioune A., Malou J.R., Gueye E.H.M., Kane M.N., Diouf M., Bahoum J.P.D., Ndiaye S., Sadio I., Amouzou M., Cisse M., Diatta A.F., Coly N.B.D., Cissokho A., Diack B., Manel N.K.S., Diallo R., Diop D., Sene O., Balde M., Diagne J.P., Keita W.D., Diop O. & Daffe M., 2019. Situation économique et sociale du Sénégal 2019  
 13.
- Thomas F., 2012. ÉCARTEMENT DES RANGS : LES CHOSES BOUGENT (70), 8.
- Tridge, 2022. Poivron frais production and top producing countries. *Tridge*  
 . <https://www.tridge.com/intelligences/bell-pepper/production>, (16/07/2022).
- Tropicasem, 2020. Fiches Techniques Aubergines Africaines.
- Une pépinière, s.d. Aubergine ? *Une Pépinière*.  
<http://www.unepepiniere.com/2011/06/aubergine.html>, (17/07/2022).
- UPA développement international, 2017. Portrait diagnostique de la santé des sols agricoles
- Vaksmann M. & Niangado O., 1996. Le photopériodisme des sorghos africains (9)
- Verolet J-François, Raffin Roger, Jagu Ludovic, Berry Dominique et l'A.D.A.B, 2001. Fiche technique en agriculture biologique : Aubergine (*Solanum melongena* L.)
- Villiers A., 1963. La nature est notre mère : la conservation de la nature et ses ressources dans la zone soudano-sahélienne de l'Afrique. *UICN* **2**, 79.
- Waghmare J.T., Ware A.M. & Momin S.A., 2007. Neem Oil As Pesticide **28**(2), 323–328,  
 DOI:<https://doi.org/10.1080/01932690601062291>.
- Zohoungbogbo H., Montin A., Legba E., Houdégbé C., Fassinou Hotegni V.N. & Achigan-Dako E., 2020. Fiche technique synthétique pour la production du maïs (*Zea mays* L.) DOI:[10.13140/RG.2.2.33147.95527](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33147.95527).

## VIII. Annexes

## Annexe 1

Echantillons		préparation	Granulométrie					pH		
N° Labo	Références demandeur		argiles %	limons fins %	limons gros.%	sables fins %	sables grossiers %	total %	H <sub>2</sub> O	KCl
1	1	X	4.00	0.70	2.60	63.00	27.60	98	7.92	7.77
2	2	X	5.6	0.8	4	62.1	25.5	98	7.78	7.36
3	3	X	3.2	0.6	3.5	57.6	32.5	97.4	7.98	7.87
4	4	X	4.9	0.8	3.9	68.8	19.5	97.9	7.64	7.43
5	5	X	4	1	5	68.5	21.2	99.7	8.54	8.07
6	6	X	8.9	3.6	6.8	56.4	23.3	99	7.54	7.50
7	7	X	6.3	1.5	4.4	60.3	26.5	99	7.90	7.71
8	8	X	8.4	2	5.2	63.2	19.9	98.7	7.76	7.50
9	9	X	11.5	1.8	5.5	57.5	22.5	98.8	8.04	7.73
10	10	X	6.1	1.5	5.2	60	25.9	98.7	8.36	7.89

Azote Kjeldahl mg / kg	Azote assimilable		Azote total g/kg	Carbone total g/kg	C / N	C organique g / kg	P total P mg/kg	P assim. P mg/kg
	N(NO <sub>3</sub> ) mg/kg	N(NH <sub>4</sub> ) mg/kg						
510.87	40.60	32.68	0.49	5.77	12	5.74	168.38	31.26
671.79	41.67	7.94	0.64	7.44	12	6.99	396.21	77.78
475.91	21.81	3.97	0.40	4.81	12	4.69	125.86	20.14
944.59	63.20	11.85	1.05	10.57	10	10.32	509.39	67.77
305.37	20.83	42.66	0.26	2.34	9	2.68	77.87	7.92
1161.12	94.47	11.93	1.22	13.64	11	12.43	703.94	118.2
270.70	23.70	5.92	0.26	3.38	13	3.78	131.75	35.17
863.59	33.87	7.97	0.73	8.84	12	8.47	319.46	64.59
892.15	45.75	4.97	0.88	10.36	12	8.99	544.96	133.85
1032.03	18.87	0.99	1.00	12.44	12	10.78	652.02	137.29

## Annexe 2

**Réalisation du compost (selon Mbay : agriculteur du village ayant reçu une formation de compostage) :**

1. Creuser 30-40 cm dans le sol
2. Arroser
3. Mettre de la paille
4. Arroser
5. Mettre du fumier
6. Arroser
7. Mettre de la coque d'arachide ou des résidus de mil s'il y en a
8. Arroser
9. Mettre une autre couche de fumier
10. Arroser
11. Des feuilles de neem ou autres fraîches
12. Arroser
13. Des cendres

Faire autant de couches possibles, ne pas dépasser la hauteur de 1 m pour faciliter la manipulation du tas. Ensuite couvrir avec une bâche hermétique. Laisser le compost en place plus ou moins 21 jours en mélangeant tous les 5 jours. Arroser le compost à chaque fois qu'il est sec. Le compost sera prêt une fois que sa couleur sera brun foncé et que ses consistance et odeur ressemblent à de la terre de forêt.

## Annexe 3

**Recette de l'huile de neem**

Option 1

- 150 ml d'huile pure
- Plus ou moins 20 mg de savon liquide
- 15 l d'eau
- Traitement 2 fois par semaine

Option 2

- 150 ml huile pure
- 2 bulbes d'ails
  - broyer
  - mettre dans 4 l d'eau
  - filtrer
  - récupérer le filtrat

Mélanger 150 ml de l'huile + 500 ml de sol de piment + 13 l d'eau + 20 mg de savon liquide. Appliquer le produit 3 fois par semaine.

## Annexe 4

BD