

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

BIORESSOURCE ET AGRONOMIE

OPTION

AMELIORATION DES RESSOURCES AGRICOLES

Par

KOFFI Koffi David

THEME :

Année Académique

2021-2022

Numéro d'ordre :

025/ 2022

Impact des champignons mycorhiziens (*Rhizophagus intraradices*), de *Azolla filiculoides*, de la combinaison champignons mycorhiziens-*Azolla* et du NPK, sur la production du piment (*Capsicum chinense*) en milieu naturel

Date de soutenance : 04/07/2022

Jury

M. AYOLIE Koutoua,	Maître de Conférence, Université Jean Lorougnon GUEDE,	Président
M. GROGA Noel,	Maître de Conférence, Université Jean Lorougnon GUEDE,	Directeur scientifique
M. KOUASSI Kra Athanase,	Maître Assistant, Université Jean Lorougnon GUEDE,	Encadreur
M. SORO Sibirina,	Maître de Conférence, Université Jean Lorougnon GUEDE,	Examineur

DEDICACE

Je dédie ce travail à ceux qui ont tout sacrifié pour moi, mes chers parents.

- ✓ *A mon père KANGA Koffi Xavier et mes frères et sœurs pour leur soutien.*
- ✓ *A ma mère KANGA N'ssan pour son soutien moral. Je demande à Dieu de la guérir de cette maladie qui la fatigue depuis plusieurs décennies.*

REMERCIEMENTS

Le présent travail n'aurait pu voir le jour sans la contribution d'un certain nombre de personnalités que nous voudrions remercier.

Nous voudrions avant tout, exprimer toute notre reconnaissance au Professeur **TIDOU Abiba Sanogo Epouse KONE**, Professeur titulaire, Présidente de l'Université Jean Lorougnon GUEDE, pour ses encouragements à la recherche scientifique.

Nous associons ensuite à ces remerciements, Professeur **KONE Tidiani**, Professeur titulaire, vice-président chargé de la pédagogie, de la vie universitaire, de la recherche et de l'innovation technologique et Professeur **AKAFFOU Doffou Sélastique**, Professeur titulaire, vice-président chargé de la planification, de la programmation et des relations extérieures de l'Université Jean Lorougnon GUEDE, pour leurs conseils avisés.

Nous adressons également notre gratitude à Docteur **TONESSIA Dolou Charlotte**, Maître de conférences, Directrice de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) en Agroforesterie.

Nous sommes très reconnaissant envers Docteur **GROGA Noël**, Maître de Conférences en Bilologie et Ecologie fonctionnelle, Responsable du Parcours Bioressource et Agronomie. Nous tenons à vous dire merci pour la direction scientifique et la bonne conduite de ce travail. Nous voudrions remercier Docteur **AYOLIE Koutoua**, Maître de Conférences en Agro physiologie, chef de Laboratoire d'Agrophysiologie, pour avoir accepté de présider ce Jury. Merci pour votre disponibilité que vous nous accordez. Que Dieu vous bénisse dans tous vos domaines.

Et à Docteur **SORO Sibirina**, Maître de Conférences en Phytopathologie, pour avoir accepté d'examiner ce document. Merci pour votre disponibilité pour la bonne réalisation de cette œuvre.

Il nous est également agréable d'exprimer nos profonds remerciements au Docteur **KOUASSI Kra Athanase**, Maitre-assistant en Microbiologie et Sécurité Alimentaire pour avoir de m'encadrer et de diriger ce travail. Merci pour votre disponibilité dont vous avez fait preuve malgré vos nombreuses obligations, vos encouragements et conseils tout au long de la réalisation de cette œuvre. Que Dieu vous bénisse au-delà de vos attentes.

Nos remerciements vont à l'endroit de tous les enseignants de l'Université Jean Lorougnon GUEDE, pour la bonne formation qu'ils inculquent aux étudiants.

Nos remerciements vont également à l'endroit de tous les membres de ma famille, à mon oncle **KANGA Kouassi Philippe** et sa femme **KONAN Akissi Mariosse** pour leur conseils et soutiens financiers. Que Dieu vous bénisse au-delà de vos attentes.

Nous voudrions dire merci à tous nos amis qui ont participer à la réalisation de ce travail, **YAO Kouakou Alfrède, BOKETONOU N'cho Sylvain, KONAN Yao Arnaud.**

TABLE DES MATIERES

	Pages
DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
INTRODUCTION.....	1
Première partie : Généralités.....	1
1. PIMENT.....	3
1.1. Définition et historique.....	3
1.2. Propagation de piment.....	3
1.3. Différents types d'espèces de piment.....	4
1.3.1. <i>Capsicum annuum</i>	4
1.3.2. <i>Capsicum baccatum</i>	4
1.3.3. <i>Capsicum chinense</i>	5
1.3.4. <i>Capsicum pubescens</i>	5
1.3.5. <i>Capsicum frutescens</i>	6
1.4. Position systématique du piment	6
1.5. Ecologie du piment	7
1.6. Importance du piment.....	8
1.6.1. Importance nutritionnelle	8
1.6.2. Importance médicale	8
1.6.3. Importance économique	9
1.6.4. Importance en agriculture	10
2. CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS.....	10
2.1. Définition et description	10
2.2. Relation des champignons mycorhiziens et la plante.....	10
2.3. Écologie des champignons mycorhiziens.....	11
2.4. Différents types de mycorhize	13
2.4.1. Endomycorhizes ou mycorhizes internes.....	13
2.4.1.1. Endomycorhizes à arbuscules ou arbusculaires (AM)	13
2.4.1.2. Endomycorhizes à pelotons intracellulaires	13
2.4.1.3. Endomycorhizes éricoïdes	14

2.4.1.4. Ectendomycorhizes, ou mycorhizes ectendotrophes ou mycorhizes de type arbutoïde.....	14
2.4.2. Ectomycorhizes ou mycorhizes externes	14
2.5. Importance des champignons mycorhiziens en agriculture.....	14
3. AZOLLA	16
3.1. Définition.....	16
3.2. Reproduction chez <i>Azolla</i>	17
3.3. Ecologie	17
3.4. Importance d' <i>Azolla</i> en agriculture	18
4. ENGRAIS MINERAUX (NPK)	18
4.1. Définition.....	18
4.2. Rôles des principaux éléments minéraux	18
4.2.1. Azote (N).....	18
4.2.2. Phosphore (P)	18
4.2.3. Potassium (K)	19
Deuxième partie : Matériel et Méthodes	
1. MATERIEL.....	20
1.2. Présentation du site d'étude	20
1.3. Matériel biologique	20
1.4. Matériel fertilisant minéral	20
1.5. Matériel technique.....	21
2. METHODES	22
2.1. Préparation du terrain et le planting	22
2.2. Installation de la pépinière.....	22
2.3. Application des fertilisants	23
2.4. Dispositif expérimental	23
2.5. Collette des données.....	24
2.6. Analyse des données	25
Troisième partie : Résultats et Discussion	
1. RESULTATS	26
1.1. Effet des traitements sur le développement végétatif des plants de piment	26
1.1.1. Nombre des feuilles	26
1.1.2. Hauteur des plantes.....	26
1.1.3. Diamètre au collet.....	27
1.1.4. Largeur des feuilles.....	27

1.1.5. Longueur des feuilles	27
1.2. Effets des traitements sur les paramètres de la production du piment	29
1.2.1. Nombre de fleurs	29
1.2.2. Nombre de fruits	29
1.2.3. Poids des fruits	29
2. DISCUSSION	31
CONCLUSION	34
REFERENCES	35
RESUME	40

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

CM : Champignon mycorhizien

NPK : Azote, Phosphore, Potassium

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

NF : Nombre des feuilles

HaP : Hauteur de la plante

LaC : Diamètre au collet

LaF : Largeur des feuilles

LoF : Longueur des feuilles

Nflr : Nombre des fleurs

Nfr : Nombre des fruits

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau I : Evaluation des traitements sur les paramètres végétatifs des plants de piments ...	28
Tableau II : Evaluation des traitements sur la production des plants de piments	30

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 : Organes de <i>Capsicum annuum</i> :.....	4
Figure 2 : Organes de <i>Capsicum baccatum</i> :.....	5
Figure 3 : Fleur et fruits de <i>Capsicum chinense</i>	5
Figure 4 : Fleur et fruits de <i>Capsicum pubescens</i>	6
Figure 5 : Fleur et fruits de <i>Capsicum frutescens</i>	6
Figure 6 : Plante d' <i>Azolla filiculoides</i>	16
Figure 7 : Matériel biologique utilisé pour réaliser l'étude	20
Figure 8 : Fertilisant minéral.....	21
Figure 9 : Matériel technique utilisé :.....	21
Figure 10 : Planches à pépinière de piment	22
Figure 11 : Les fertilisants utilisés :.....	23
Figure 12 : Dispositif expérimental	24

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'agriculture est indispensable à la société actuelle. Elle doit par ailleurs subvenir à la nutrition de la population mondiale. Parmi les légumes les plus cultivées dans le monde, le piment représente une des principales cultures dont la consommation est importante. Le piment est une plante maraîchère qui représente un grand intérêt au niveau mondial tant sur le plan de la production que de la consommation (Ousmane, 2019). Les piments ont différentes formes et tailles, mais ils appartiennent tous au genre *Capsicum*. (Ousmane, 2019). Ils sont cultivés ou poussent de façon sauvage au Mexique, aux États-Unis, en Amérique du Sud, aux Caraïbes, en Afrique, en Inde, en Chine et Asie du Sud-Est (Ousmane, 2019). Les données de la FAO (2020) montrent que la production du piment à l'échelle mondiale évolue d'une année à l'autre enregistrant un taux d'accroissement estimé à 85 % dans la décennie 2009 - 2019. Cependant, le dérèglement climatique et l'appauvrissement des sols impactent les rentabilités des productions du piment (Ousmane, 2019). En effet l'amélioration génétique des plantes de piment et l'utilisation des intrants sont nécessairement impliquées dans la recherche de réponses aux enjeux de la production du piment. De plus, les engrais biologiques et les engrais minéraux (NPK) ont montré de nombreux avantages pour la fertilisation des sols. Parmi les engrais biologiques, les champignons mycorhiziens (*Rhizophagus intraradices*) et l'*Azolla* (*Azolla filiculoides*) peuvent être considérés comme une solution pour limiter l'impact des chocs environnementaux causés par des produits phytosanitaires de synthèse utilisés actuellement. Par ailleurs, il est universellement reconnu que les champignons mycorhiziens (*Rhizophagus intraradices*) contribuent efficacement à l'établissement et au maintien des plantes dans des conditions écologiques très contraignantes (Tacon *et al.*, 2008). Certaines plantes ne peuvent croître sans être associés à des champignons mycorhiziens (*Rhizophagus intraradices*) (Tacon *et al.*, 2008). Les hyphes mycéliens explorent un grand volume de sol et permettent ainsi aux plantes colonisées d'obtenir l'eau et les substances nutritives nécessaires à leur fonctionnement et à leur croissance (Nelson, 2009). Elles seraient ainsi à l'origine de la plus grande tolérance à la sécheresse des plantes mycorhizes (Nelson, 2009). Cette tolérance est cependant liée à l'espèce de champignon mycorhizien. Ainsi, l'étude de champignons mycorhiziens est importante non seulement du fait du rôle direct qu'il joue sur les performances des arbres mais également à cause de leur contribution au fonctionnement de l'écosystème. La composition et le fonctionnement des associations mycorhizes et plantes ont été surtout étudiés en conditions contrôlées avec des plantes isolées (Barea, 2013). Concernant l'*Azolla* (*Azolla filiculoides*), c'est une petite fougère aquatique réalisant une symbiose héréditaire avec *Anabaena azollae*, cyanobactérie diazotrophe, capable d'utiliser le diazote (N₂). Cette association se caractérise par

une productivité élevée des substances azotées et une forte teneur en protéines. Les protéines confèrent à *Azolla* des qualités fertilisantes et alimentaires, reconnues et exploitées empiriquement depuis de nombreux siècles en Chine et au Vietnam (FAO, 1978). En ce qui concerne les engrais minéraux (NPK), ce sont des substances d'origine minérale, produites par l'industrie chimique, ou par l'exploitation de gisements naturels de phosphate et de potasse. Il existe les engrais simples, ne contenant qu'un seul élément nutritif, et les engrais composés, qui peuvent en contenir deux ou trois. L'appellation des engrais minéraux est normalisée, par la référence à leurs trois composants principaux NPK. Les engrais simples peuvent être azotés, phosphatés ou potassiques. L'avantage de ces engrais minéraux est leur facilité d'application, par épandage et leur rapport qualité prix.

Malgré l'utilisation importante des fertilisants dans l'agriculture, notamment, dans la fertilisation des sols, la production du piment reste faible en Côte d'Ivoire. De plus l'utilisation des engrais NPK est en partie la cause principale de la destruction de la microfaune du sol, de la pollution des sols et des nappes phréatiques. Il devient alors impératif d'entreprendre des actions pour une meilleure production du piment tout en préservant l'environnement de façon durable.

L'objectif générale de cette étude est d'améliorer la production du piment à partir des biofertilisants comme Champignons mycorhiziens et *Azolla*.

Il s'agit plus spécifiquement de :

- évaluer l'action des effets des champignons mycorhiziens (*Rhizophagus intraradices*) de l'*Azolla* (*Azolla filiculoides*), de l'association CM –*Azolla* et du NPK sur la production du piment en milieu naturel ;
- comparer les différents effets de l'utilisation des champignons mycorhiziens (*Rhizophagus intraradices*), de l'*Azolla* (*Azolla filiculoides*), de l'association CM-*Azolla* et du NPK sur le développement végétatif des plants de piment.

Ce document est composé de trois parties hormis l'introduction, la conclusion et les références. La première partie est consacrée à la généralité sur le piment, les biofertilisants (champignons mycorhiziens et *Azolla*) et les fertilisants chimiques (NPK). Le matériel et les méthodologies d'étude utilisés pour atteindre les objectifs sont exposés dans la deuxième partie. Les résultats obtenus sont commentés et discutés dans la troisième partie.

Première partie : Généralités

1. PIMENT

1.1. Définition et historique

Le mot piment vient du latin *pigmentum* signifiant substance colorante (Birlouez, 2020). Il est utilisé au Moyen âge pour désigner toute épice colorée avant l'introduction des piments d'Amérique (Birlouez, 2020). Le terme piment est un nom vernaculaire désignant le fruit de cinq espèces de plantes du genre *Capsicum* de la famille des Solanacées et de plusieurs autres taxons. Le piment désigne plus communément le fruit de ces plantes, utilisés comme condiment ou légume. En français canadien, le mot piment désigne parfois les poivrons, les autres variétés de *Capsicum*, au goût plus piquant. La notion de piment est généralement associée à la saveur de piquant. Les piments font partie de l'alimentation des Amériques depuis au moins 9 500 ans. Des traces archéologiques de domestication ont été trouvées dans le Sud-Ouest de l'Équateur il y a plus de 6 000 ans.

Le piment semble avoir été une des premières plantes cultivées autogames en Amérique centrale et du Sud (Perry, 2007). Les piments du genre *Capsicum*, principaux représentants de la saveur pimentée, sont originaires d'Amérique du Sud, du Mexique et d'Amérique centrale (Arvy & Gallouin, 2003), où ils étaient cultivés comme plantes potagères pour leurs fruits aux qualités alimentaires et aromatiques. Les piments sont aujourd'hui cultivés dans au moins 64 pays. L'Inde produit à elle seule 38,7 % de la production mondiale (3,4 millions de tonnes). Ils sont de plus en plus utilisés pour leurs aspects décoratifs et pour leurs propriétés médicinales (Kenneth, 2007).

1.2. Propagation de piment

La propagation du piment fut commencée par Christophe Colomb. En effet, Christophe Colomb rapporta quelques spécimens de piments à Séville dès 1493. Il se répand vite en Europe. De l'Europe, le piment gagne le monde arabo-musulman (Birlouez, 2020). La propagation du piment en Asie et en Afrique est liée aux Portugais (Birlouez, 2020). La consommation de piment en Asie est corrélée à la présence de marchands portugais ; ainsi, la région de Goa est la région d'Inde ayant la plus forte consommation de piment. Les espagnols ont quant à eux introduit le piment aux Philippines (Hamza, 2010). Les marchands des différentes puissances locales finirent de répandre le piment au fil de leurs voyages (Birlouez, 2020).

1.3. Différents types d'espèces de piment

Le piment est une plante herbacée appartenant à la famille des Solanacées, originaire d'Amérique tropicale, annuelle en climat tempéré mais pérenne en régions subtropicales. Il en existe plusieurs espèces cultivées pour leurs fruits creux de taille et de couleur variables utilisées en cuisine comme épices (piment rouge) ou comme légumes (piment doux ou poivron). Il existe vingt-cinq espèces de piments mais seulement cinq sont domestiquées (Birlouez, 2020). Chacune est distinguable grâce à ses fleurs qui sont de couleur violette, verte ou blanche et parfois maculées de jaune et rouge (Arvy *et al.*, 2003).

1.3.1. *Capsicum annuum*

Capsicum annuum est l'espèce la plus cultivée avec les fleurs blanches. C'est une plante herbacée de 0,50 à 1,50 m de hauteur avec des feuilles simples, larges, molles, pétiolées et alternes, très souvent glabres et ovales à elliptiques plus ou moins allongées (Figure 1). Les fleurs de *Capsicum annuum* sont solitaires, quelques fois par paires ou en bouquets, petites, blanches, terminales, bisexuées. Le fruit est une baie indéhiscente avec un épais pédoncule qui varie suivant la forme ou la saveur (piquante ou douce). Il en existe aussi des variétés décoratives de *Capsicum annuum* comme le *peruvian purple*, aux fleurs violettes (Birlouez, 2020).

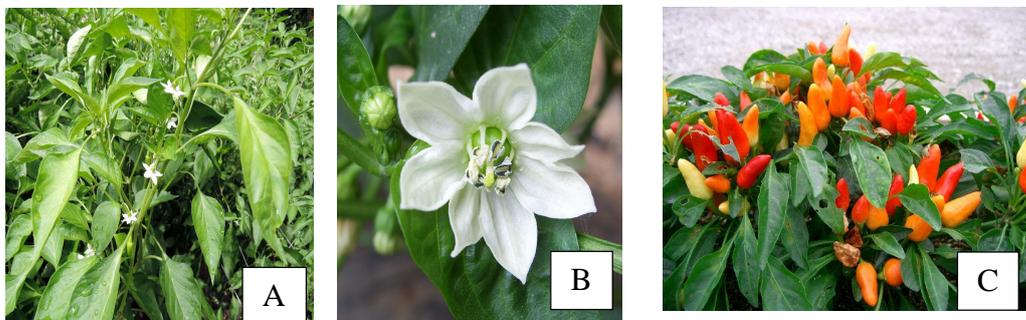


Figure 1: Organes de *Capsicum annuum* :

A : feuilles ; B : fleur ; C : fruits (Birlouez, 2020)

1.3.2. *Capsicum baccatum*

Capsicum baccatum présente généralement des fleurs blanches avec des traces jaunes ou vertes (Figure 2). Peu diffusées en dehors de leur aire d'origine, ce sont souvent de grandes plantes de plus d'un mètre de haut. Le cycle de *Capsicum baccatum* environ 120 jours. Les fruits sont difficiles à conserver car ils se déshydratent (Birlouez, 2020).

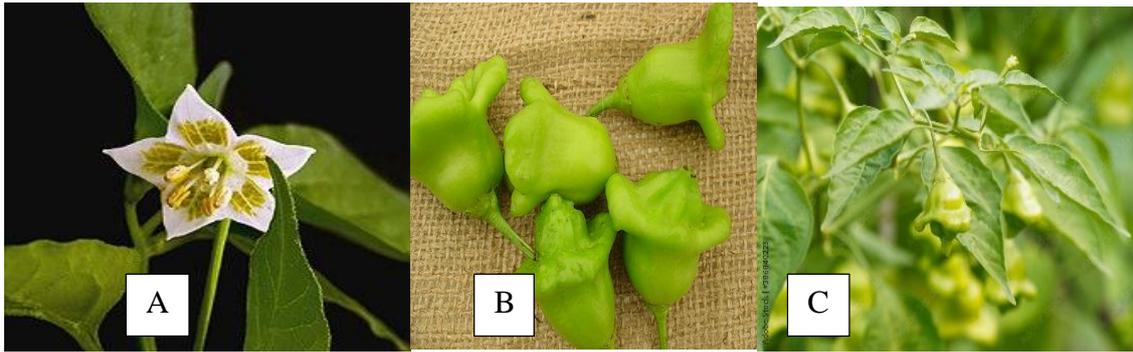


Figure 2: Organes de *Capsicum baccatum*:

A : feuilles ; B : fleur ; C : fruits (Birlouez, 2020)

1.3.3. *Capsicum chinense*

Capsicum chinense ne vient pas de Chine, contrairement à ce que le nom suggère mais aussi d'Amérique du Sud (Birlouez, 2020). Les fruits ont une saveur caractéristique d'abricot, mais ils sont aussi souvent parmi les plus forts ; il convient donc d'être prudent à la dégustation de quelques variétés comme habanero ou *Coiffe d'évêque*. Celui-ci a en effet eu la réputation d'être le piment le plus fort du monde jusque dans les années 2000 (Birlouez, 2020). Ces espèces sont lentes à germer et à mûrir, et demandent un climat chaud et humide (Figure 3).



Figure 3: Fleur et fruits de *Capsicum chinense*

(Birlouez, 2020)

1.3.4. *Capsicum pubescens*

Capsicum pubescens propose des variétés moins communes en culture (Birlouez, 2020), plus délicates. Les fleurs sont violettes, avec des anthères blanches (**Figure 4**). C'est la seule espèce produisant des graines noires. Le piment rocoto fait partie de cette espèce.



Figure 4: Fleur et fruits de *Capsicum pubescens*

(Birlouez, 2020)

1.3.5. *Capsicum frutescens*

Capsicum frutescens présente des variétés aux fleurs blanches, teintées de vert, avec des anthères violettes (**Figure 5**). Elles sont peu cultivées, mis à part le piment de Cayenne, le piment oiseau ou encore la variété du *Piment Tabasco* avec lequel est fabriqué le fameux tabasco (Birlouez, 2020).



Figure 5: Fleur et fruits de *Capsicum frutescens*

(Birlouez, 2020).

1.4. Position systématique du piment

La connaissance botanique du piment date du début de XVIème siècle. Le genre *Capsicum* fut institué par Trunefort (1719), et adapté par Linne en 1735.

Règne	:	Plantae
Ordre	:	Phanérogames
Embranchement	:	Spermaphytes
Sous embranchement	:	Angiosperme
Classe	:	Dicotylédones
Sous classe	:	Gamopétales
Famille	:	Solanacées
Genre	:	Capsicum
Espèce	:	<i>Capsicum annuum</i> L
		<i>Capsicum baccatum</i> L
		<i>Capsicum chinense</i> L
		<i>Capsicum pubescens</i> L
		<i>Capsicum frutescens</i> L

1.5. Ecologie du piment

Le piment est une des plantes maraîchères les plus thermophiles. Son développement optimal s'observe sous des températures variant entre 16 et 26° C (Messiaen, 2011). Même si la plante n'est pas très sensible au photopériodisme, le comportement peut varier selon le niveau de la moyenne journalière (Chaux & Foury, 2007). Elle requiert des éclaircements inférieurs à 50% du rayonnement solaire naturel et le zéro de végétation des jeunes plants se situe à 14° C (Messiaen, 2011). Le piment s'adapte bien à la saison sèche des climats sahéliens ou "Sud chinois" c'est à dire dans les régions localisées entre 25 à 30 ° de latitude sud (Messiaen, 2011).

Le piment requiert des sols souples, profonds, à humidité circulante (Laumonier, 2013), mais s'adapte assez bien à une large gamme de sols tant qu'ils sont bien drainés. Le facteur humus est important pour cette culture exigeante par rapport à d'autres Solanacées telles les

aubergines ou la tomate. Le pH convenable du sol se situer entre 6.5 et 7. Les conditions de culture restent les mêmes quelle qu'en soit la finalité de la production (Desai *et al* 1997).

1.6. Importance du piment

1.6.1. Importance nutritionnelle

En cuisine le piment est beaucoup considéré comme une substance destinée à assaisonner, c'est-à-dire à relever le goût des aliments ou des préparations culinaires, notamment des sauces. Le piment est devenu un ingrédient de base dans toutes les cuisines tropicales, pas uniquement pour ses saveurs. Les piments contiennent plus de vitamines A que n'importe quel autre fruit ou légume et sont une source importante de vitamine C, de magnésium et de fer (Kenneth, 2000). À noter que la production de vitamine A augmente avec la maturation du fruit alors que la production de vitamine C diminue (Kenneth, 2000). Pour ce qui concerne la saveur du piment, on note que de nombreuses variétés de piment peuvent se classer du doux au très fort. Ainsi, le piment de Cayenne et le piment langue d'oiseau, le Habanero originaire du Nord du Mexique sont très forts, alors que le piment d'Espelette cultivé au Pays bas est plus doux. Boire de l'eau pour atténuer la force d'un piment est inutile car la capsaïcine est hydrophobe (Birlouez, 2020). En revanche elle est soluble dans les graisses et la caséine du lait neutralise son action sur les récepteurs de la douleur (Birlouez, 2020). Il faut éviter de se toucher les yeux, les lèvres et autres muqueuses en préparant du piment sous peine de sensations de brûlures douloureuses. Par ailleurs la cuisson, même prolongée, n'altère pas non plus cette force, à la différence de ce qui se passe pour l'oignon, l'ail ou l'échalote

1.6.2. Importance médicale

Le piment est très utilisé en médecine traditionnelle. Les piments forts provoquent une forte salivation, participent à la digestion et sont laxatifs. La capsaïcine, principe actif, stimule les muqueuses de la bouche, de l'estomac et des intestins (mouvements péristaltiques). Facilitant la sueur, le piment participe à un rafraîchissement de la peau dans les pays chauds. Tous les piments contiennent des composés phytochimiques connus collectivement sous le nom de capsaïcinoïdes. La médecine moderne utilise la capsaïcine pour traiter la douleur, les désordres respiratoires, le zona, les maux de dents et l'arthrite (Kenneth, 2000). En laboratoire, la capsaïcine a permis l'apoptose de cellules cancéreuses chez le rat (Athanasίου *et al.*, 2007). Chez la souris, la capsaïcine pourrait permettre une perte de poids en Cas d'obésité (Hsu & Yen, 2007 et Stephen, 2007). Des chercheurs ont utilisé la capsaïcine du piment pour tuer les cellules nerveuses du pancréas de souris ayant un diabète de type 1, permettant aux cellules productrices d'insuline de recommencer à produire de l'insuline (Razavi *et al.*, 2006). Il a été constaté que la

quantité d'insuline nécessaire pour abaisser la glycémie après un repas est réduite si le repas contient du piment. Elle diminue le contenu en lipides de certaines cellules hépatiques (Bort *et al.*, 2019). La consommation de piment, grâce à ses vertus anti-inflammatoire, antioxydants, anticancéreuses et régulatrices de la glycémie, via la capsaïcine, a été corrélée avec une longévité améliorée due à la diminution de 25 % de la mortalité. Toutes causes, selon les résultats préliminaires d'une revue d'études en 2020 basée sur les dossiers de santé et d'alimentation de plus de 570 000 personnes (aux États-Unis, en Italie, en Chine et en Iran), présentée aux sessions scientifiques 2020 de l'American Heart Association, qui pourrait être due à une baisse de la mortalité cardio-vasculaire, une association retrouvée dans plusieurs pays dont l'Italie (Bonaccio, 2019), la Chine (Chopan, 2017) et les États-Unis. Après l'ajout de piment à l'alimentation, le mauvais cholestérol résiste plus longtemps à l'oxydation, ce qui retarde le développement d'un risque majeur pour les maladies cardio-vasculaires. Une consommation régulière de piment rouge réduirait de 26 % de la mortalité cardiovasculaire, et de 23 % de la mortalité toutes causes (Ruidant, 2020).

Traditionnellement, les épices et le piment permettent de contrôler les niveaux de contamination microbienne des aliments des pays avec peu ou pas de réfrigération (Billing & Sherman, 2010). Cependant une ingestion chronique de piment peut induire un reflux gastro-œsophagien (Milke *et al.*, 2006). Par ailleurs, une consommation élevée de piment peut être associée au cancer de l'estomac (Mathew *et al.*, 2000). Des aflatoxines et composés N-nitroso, cancérigènes, se retrouvent fréquemment dans la poudre de piment (Fazekas *et al.*, 2005). L'ingestion de petites quantités de piment peut aggraver temporairement l'état de patients souffrant d'hémorroïdes (douleur, démangeaisons et saignements). Une consommation élevée de piments peut provoquer des irritations et des brûlures anales lors de la défécation.

1.6.3. Importance économique

Le piment constitue une source de revenus importants pour les producteurs. Ce fruit est de plus en plus sollicité sous sa forme brute ou transformée, aussi bien sur le marché africain que pour l'exportation hors du continent. En plus de constituer un incontournable dans la cuisine africaine, le piment est également utilisé dans la fabrication de produits industriels, pharmaceutiques et cosmétiques, laissant un large choix d'opportunité de création d'entreprise à ceux qui souhaitent se lancer dans ce marché.

1.6.4. Importance en agriculture

En agriculture, les capsaïcinoïdes des piments permettent d'éliminer leurs prédateurs naturels. En étudiant des plants sauvages de piments, des chercheurs ont montré que *Capsicum* se pimentait en fonction de la densité de leurs ennemis : lorsque les insectes sont nombreux, les plants sont plus souvent pimentés et, lorsque les attaques fongiques se multiplient, encore plus piquants. Sans prédation, les piments sont plus doux. Le piment peut servir à fabriquer un insecticide naturel (Gauthie, 2015). Pour l'obtenir, il suffit de piler finement 300g puis de mélanger à deux litres d'eau. Le tout est bien secoué dans un récipient à couvercle étanche afin d'obtenir un mélange homogène. Ensuite, il faut procéder au filtrage. De l'eau savonneuse est ajoutée à la solution filtrée afin qu'elle se fixe sur les feuilles. On obtient ainsi un concentré à répandre immédiatement à l'aide d'un pulvérisateur ou d'un arrosoir à main. De l'avis des spécialistes, il s'agit là d'un puissant insecticide qui détruit en un délai très court les parasites.

2. CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS

2.1. Définition et description

Un mycorhize, du grec *myco*, « champignon » et *rhiza*, « racine », est un terme introduit en 1885 par le botaniste Albert Bernhard Frank est le résultat de l'association symbiotique, appelée mycorhization, entre des champignons et les racines des plantes. Le mycorhize est une composante majeure de l'édaphon et de la rhizosphère. Dans cette association généralement non spécifique, les spores d'un champignon mycorhizien ou mycorhizogène sont disséminées par le vent (anémochorie), par la pluie (hydrochorie), ou par les déjections d'animaux (endozoochorie), germent, et donnent les hyphes du mycélium qui colonisent les racines d'une plante. Ces hyphes radiculaires se distinguent des hyphes extraradiculaires qui se développent également à l'extérieur de la racine sur plusieurs centimètres, explorant le sol alentour du système racinaire de la plante hôte. Ce que l'on appelle couramment champignon, que l'on cueille avec son pied et chapeau, n'est que la fructification du mycélium, le sporophore, où se déroule la reproduction sexuée. Les hyphes se présentent comme de fins filaments, capables d'explorer un très grand volume de sol (mille mètres de filaments mycéliens pour un mètre de racine).

2.2. Relation des champignons mycorhiziens et la plante

La relation mycorhizienne est de type symbiotique, mais un déséquilibre dans la relation peut être induit par une faiblesse de l'un des deux partenaires, l'association pouvant alors glisser le long du continuum mutualisme-parasitisme (Margaret & Ronsheim, 2012). Le champignon

peut alors aussi contribuer à recycler la nécromasse de son hôte, au profit de leurs deux descendances. Alors que la surface d'exploration exploitée par la plante n'est multipliée que par 10 par les poils absorbants actifs qu'en période de germination, elle est multipliée par 10 000 grâce aux mycorhizes (filaments d'un diamètre d'un centième de millimètre) qui ont un coût énergétique de mise en place cent fois moindre que les racines (Marc, 2017). Les poils absorbants restent fonctionnels dans quelques groupes de plantes adultes (moins de 10 %) non mycorhizées qui ont perdu secondairement l'association fongique, plus de 90 % étant colonisées par ces hyphes du champignon symbiote qui assurent l'essentiel de l'absorption d'eau et des nutriments, et multiplient par dix la croissance de la plante (Marc, 2017). Les estimations suggèrent qu'il y a près de 50 000 espèces fongiques qui forment des associations mycorhiziennes avec 250 000 espèces végétales, 80 % de ces associations correspondant à des endomycorhizes arbusculaires (Heijden, *et al.*, 2015).

Il semble que les plantes non mycorhizées de milieux pionniers (absence de champignons), humides et/ou riches, dans lesquels l'approvisionnement hydrominéral ne nécessite pas de mycorhize, aient eu besoin de compenser l'absence de l'auxiliaire fongique en développant des structures racinaires qui imitent les filaments mycéliens et leur grande efficacité pour coloniser un grand volume de sol (Garbaye, 2013). En fait, la mycorhization est continuellement instable en raison des conflits d'intérêts entre les partenaires et de la pression de sélection qui pousse chaque partenaire à être le plus parasitique possible, ce qui explique les nombreuses interactions possibles : échanges de nutriments. la plante fournit des sucres et des lipides, les mycéliums fongiques fournissent de l'eau et des sels minéraux qu'il puisent dans le sol, parfois jusqu'à plusieurs dizaines de centimètres de la racine (Marc, *et al.*, 2007). Un parasitisme trop important peut conduire à la rupture de l'association. Au cours du temps, la « symbiose » serait apparue et aurait été rompue plusieurs fois : l'association est réversible. Les champignons saprophytes pourraient ainsi être des symbiotes ayant perdu leur hôte. Ainsi, dans certaines associations mycorhiziennes, l'un des partenaires semble exploiter l'autre soit par nature, soit en fonction des conditions. On entend ici par exploiteur, un individu qui obtient un bénéfice sans réciprocité.

2.3. Écologie des champignons mycorhiziens

Les mycorhizes sont à l'origine des écosystèmes les plus complexes, et en particulier dans les forêts et notamment les forêts tropicales qui vivent et évoluent souvent sur des sols parfois peu fertiles. Leurs mycéliums forment des réseaux mycéliens interconnectés qui influencent le fonctionnement des écosystèmes (cycles biogéochimiques, composition des communautés

végétales, alimentation carbonée des plantules pendant leur développement, modification de la compétition) en permettant ou augmentant des flux importants de carbone organique et de minéraux via le sol. Les minéraux captés par les marges du réseau mycélien sont rétrocedés à la racine, cette dernière apportant 20 à 40 % des glucides photosynthétisés au champignon (Marc, *et al.*, 2007).

Les mycéliens constituent un des éléments les plus dynamiques de la symbiose mycorhizienne et jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement et la structuration des communautés végétales. Ces transferts sont si efficaces, qu'ils remettent en cause le concept de spéciation par compétition pour les nutriments entre les plantes d'un écosystème, en particulier pour la capture des phosphates par les racines (ils permettent de se passer des fertilisants phosphatés), pour la résistance au calcium toxique (Kennedy & Izzo, 2003) (certaines plantes calcicoles tolèrent le calcium grâce aux hyphes mycéliens rejetant activement vers l'extérieur les ions Ca^{2+} ou en les immobilisant sous forme de cristaux d'oxalate de calcium qui précipitent dans les vacuoles, les idioblastes, ou sur les parois des hyphes) (Kermit, 1977) ou pour la résistance à la sécheresse. Ils sont pourtant encore peu exploités en horticulture, agriculture et foresterie, ou pour la dépollution de certains sols pollués. Certains groupes de champignons sont probablement des espèces-clés voire des « espèces ingénieur » qui influent sur les principaux processus écologiques du sol. Ils sont considérés par les pédologues comme des éléments essentiels de la diversité des communautés, laquelle est un facteur de stabilité et d'équilibre écologique (Helgason, *et al.*, 1998). Beaucoup de groupes-clés trouvés dans les sol (bactériens et de champignons mycorhiziens notamment) peuvent se connecter aux plantes (au moins 90 % des familles de plantes terrestres sont concernées) via des associations mycorhiziennes à arbuscules et jouer des synergies essentielles pour la survie et la productivité des plantes, contribuant à former un réseau écologique essentiellement souterrain (Helgason, *et al.*, 1998). C'est la chercheuse canadienne Suzanne Simard qui est la première à mettre en évidence en 1997 ce réseau avec le transfert mycorhizien du carbone entre des arbres en conditions naturelles (Suzanne *et al.*, 1997). La plupart des champignons mycorhiziens sont soupçonnées d'avoir plusieurs hôtes voire une large gamme d'hôtes. Chaque plante est couramment associée à plusieurs dizaines de champignons mycorhiziens différents (Marc, *et al.*, 2007). La colonisation des systèmes racinaires, le potentiel mycorhizogène du sol et la dépendance mycorhizienne des plantes sont inversement corrélés avec la teneur de la solution du sol en ions phosphates. L'enrichissement de cette solution devient directement responsable du fait que la plante bien nourrie ne favorise plus le développement des mycorhizes.

Dans certaines situations, les niveaux de phosphore atteints deviennent incompatibles avec l'installation des mycorhizes (Fortin, Plenchette et al, 2016).

2.4. Différents types de mycorhize

On distingue deux types principaux de mycorhizes, définis par les relations physioanatomiques entre les deux partenaires qui sont : les endomycorhizes et les ectomycorhizes. (Francis, 2010).

2.4.1. Endomycorhizes ou mycorhizes internes

Les endomycorhizes ou mycorhizes internes sont la forme la plus répandue. Ce sont des mycorhizes qui pénètrent à l'intérieur des racines pour mieux s'y associer. Il existe plusieurs types d'endomycorhizes qui sont ;

2.4.1.1. Endomycorhizes à arbuscules ou arbusculaires (AM)

Ce sont les cas les plus répandus. Les champignons mycorhiziens arbusculaires colonisent environ 80 % des plantes vasculaires terrestres, Ils sont associés avec les plantes herbacées et ligneuses. Les endomycorhizes arbusculaires sont formées uniquement par des champignons de la division des Gloméromycètes ayant perdu la reproduction sexuée. Les hyphes s'étendent dans le parenchyme cortical de la racine, formant des vésicules contenant des réserves, et des structures ramifiées, les arbuscules. Ils se reproduisent donc uniquement asexuellement. Cependant les hyphes d'individus différents peuvent fusionner, ce qui rend possible un échange génétique et une forme de parasexualité (Marc, *et al.*, 2007).

2.4.1.2. Endomycorhizes à pelotons intracellulaires

Dans ces cas, les hyphes forment des amas dans les cellules corticales. Elles impliquent des basidiomycètes, en association avec les Orchidacées qui ont accru leur dépendance à la symbiose, en devenant des mycohétérotrophes qui exploitent leurs champignons mycorhiziens comme source de carbone. Les hyphes pénètrent à travers la paroi des cellules à l'intérieur des cellules du cortex racinaire en repoussant la membrane plasmique. La paroi des hyphes est donc en contact avec la membrane plasmique de la cellule racinaire, sans la traverser. La surface de contact peut être augmentée par la formation de ramifications (ou arbuscules). Les racines ne sont pas déformées (Marc & Jean Jacques 2005).

2.4.1.3. Endomycorhizes éricoïdes

Les hyphes forment des pelotons dans des racines transitoires de faible diamètre. Elles impliquent des Ascomycètes ou Basidiomycètes (en symbiose avec les Ericales) (Marc & Jean Jacques 2005).

2.4.1.4. Ectendomycorhizes, ou mycorhizes ectendotrophes ou mycorhizes de type arbutoïde

Dans ces types de mycorhizes, le champignon forme des pelotons intracellulaires comme les endomycorhizes, et un manteau autour de la racine comme les ectomycorhizes. C'est le cas chez les Pyroles qui exploitent, comme les Orchidacées, leurs champignons mycorhiziens comme source de carbone (Marc, 2016). On trouve également des ectendomycorhizes monotropoïdes, chez les Ericales non chlorophylliennes. Les hyphes forment des pelotons dans les cellules superficielles de la racine. Dans cette symbiose, le réseau dense et étendu des hyphes des champignons mycorhiziens aide la plante à explorer un volume accru de sol et à accéder à des endroits inaccessibles pour les racines.

2.4.2. Ectomycorhizes ou mycorhizes externes

Les ectomycorhizes ou mycorhizes externes concernent seulement 5 % des plantes vasculaires, en majorité des arbres des forêts tempérées et boréales et des champignons de la division des Ascomycètes, des Basidiomycètes ou des Zygomycètes. Ces mycorhizes ne pénètrent pas à travers des parois cellulaires à l'intérieur des cellules de la plante, mais entourent simplement les racines, formant un manteau de mycélium et un réseau entre les parois des cellules de la racine. Le champignon s'associe d'abord aux racines fines à croissance déterminée, dépourvues de poils absorbants. Puis, il enveloppe la racine d'un manteau d'hyphes, le manchon mycorhizien. D'autres hyphes croissent entre les cellules dans la partie externe du parenchyme cortical, formant ainsi l'interface symbiotique. La symbiose modifie la physiologie de la racine mycorhizée : elle se renfle, cesse de croître et peut se ramifier de façon abondante. La coiffe et le méristème apical sont alors réduits.

2.5. Importance des champignons mycorhiziens en agriculture

Aujourd'hui les bienfaits des mycorhizes ne sont plus à démontrer dans l'agriculture. La mycorhization permet aux plantes de compenser leur absence de mobilité et leur faible emprise racinaire, les mycorhizes prolongent le rayon de prospection racinaire et permettent de puiser des éléments nutritifs. Les mycéliums ont la propriété d'excréter une glycoprotéine, la glomaline. Les champignons mycorhiziens à arbuscules par exemple, très abondant dans certains sols peuvent en produire des quantités importantes. La glomaline agit comme une colle

qui assemble les particules les plus fines du sol pour en faire des agrégats fertilisent le sol, en retenant l'eau et les éléments minéraux et en favorisant les échanges gazeux et l'aération (Fortin *et al.*, 2008). De plus, face aux attaques des plantes par des bactéries, des champignons, des insectes et des maladies fongiques, les champignons mycorhiziens peuvent intervenir de deux façons et à deux endroits pour protéger les racines de la plante contre les champignons pathogènes : dans la rhizosphère et dans les tissus racinaires. A l'échelle de la rhizosphère et surtout de la mycorhizosphère, l'espace entourant immédiatement le mycorhize, les micro-organismes sont confrontés à la compétition et à l'antagonisme, ce qui a pour effet d'établir une flore microbienne diversifiée et équilibrée. Dans cet environnement, les propagules des champignons pathogènes ne parviennent pas à proliférer et leur nombre reste toujours relativement faible. Les mycorhizes peuvent libérer dans la rhizosphère des antibiotiques qui ont pour conséquence d'éliminer tous les microorganismes, pathogènes ou non, qui pourraient venir détourner à leur profit une partie des échanges (Francis, 2009).

Le second mécanisme permettant aux plantes mycorhizées de mieux résister aux maladies est lié à des modifications des activités physiologiques dans la racine. C'est une protection indirecte qui se situe au niveau cellulaire. Chez les plants ectomycorhizés, les cellules du rhizoderme synthétisent des tannins stockés dans des vacuoles qui constituent une prémunition face à d'autres attaques de microbes et autres agents pathogènes. En bref, les champignons mycorhiziens entraînent des changements considérables dans les mécanismes de défense chez la plante contre divers parasites. (Francis, 2009). Parfois, l'association avec un champignon provoque un remodelage du système racinaire. Par exemple, chez le fraisier, la mycorhization provoque une protection accrue contre la pourriture racinaire causée par *Phytophthora fragariae*. La ramification intense des racines induite par le champignon mycorhizien est accompagnée d'exsudats racinaires, et cela aurait comme effet de modifier la microflore et les interactions directes avec les parasites (Norman & Hooker, 2000). Concernant les mycètes parasites, une plante associée à un mycorhize est aussi mieux protégée. Les hyphes du champignon symbiotique colonisent les racines de la plante et bloquent des sites d'accès au mycète parasite. Ils entrent aussi en compétition avec les nutriments disponibles. Un mycorhize reçoit lui aussi des avantages à se lier à une plante. Il reçoit des composés carbonés en échange de minéraux. Le carbone étant très convoité, un mycorhize est plus avantageux qu'un champignon parasite libre dans le sol. De plus, les mycorhizes peuvent représenter jusqu'à 80 % de la masse microbienne du sol (Kabir *et al.*, 1997). Ils influencent alors grandement les propriétés physiques et chimiques de l'environnement et peuvent donc contrôler plusieurs interactions microbiennes du sol. Parfois c'est en accord avec la plante mycorhizée en apportant

protection et croissance, mais parfois les effets sont plutôt négatifs (Borowicz, 2001). Les mycorhizes peuvent donc aider à protéger la plante aux stress abiotiques par exemple la sécheresse et biotiques de plusieurs façons par exemple, une meilleure nutrition et santé, une transformation morphologique des racines, l'induction ou la suppression de mécanismes de défense et en agissant sur le parasite lui-même, soit par compétition pour les ressources et les sites d'infection, soit par la modification de la microflore et de l'augmentation du taux de matière organique (Yolande, 2005).

3. AZOLLA

3.1. Définition

Azolla (*Azolla filiculoides*) est une petite fougère aquatique appartenant à la famille des Salviniaceae réalisant une symbiose avec *Anabaena azollae*, cyanobactérie diazotrophe, capable d'utiliser le diazote (N_2). Cette association se caractérise par une productivité élevée des substances azotées et une forte teneur en protéines. Les protéines confèrent à *Azolla* des qualités fertilisantes et alimentaires, reconnues et exploitées empiriquement depuis de nombreux siècles en Chine et au Vietnam (FAO, 1978). Généralement appelée « fronde », une plante d'*Azolla* est constituée d'une tige principale, croissant à la surface de l'eau avec des feuilles alternes ainsi que des racines adventives se formant à intervalle réguliers. A l'aisselle de certaines feuilles se développent des tiges secondaires ayant les mêmes caractéristiques que la tige principale. Elles portent à leur tour les tiges de troisième ordre. Chaque feuille est bilobée : un supérieur, flottant et chlorophyllien et ; l'autre inférieur, immergé chlorotique (Van hove *et al.*, 1983) (Figure 6).

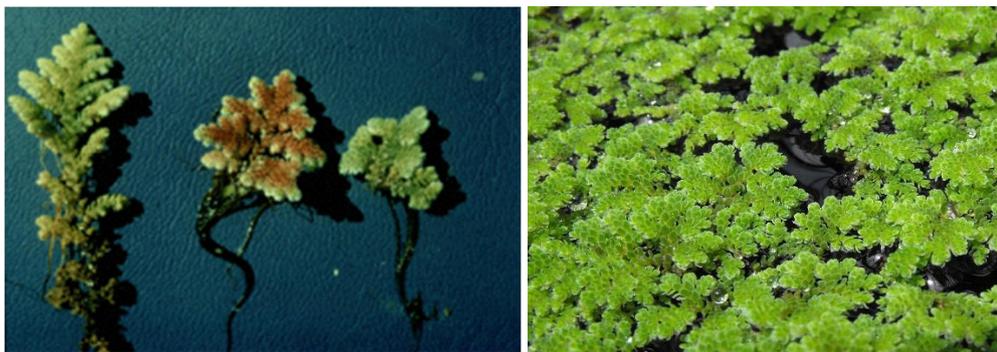


Figure 6: Plante d'*Azolla filiculoides*

(Van hove *et al.*, 1983)

3.2. Reproduction chez *Azolla*

Chez *Azolla* (*Azolla filiculoides*), il existe 2 modes de reproduction : la reproduction sexuée ou générative et la reproduction asexuée ou multiplication végétative. La reproduction se fait par voie végétative dans les conditions climatiques favorables et par voie générative en saison défavorable caractérisée par la chaleur ou le froid intense (Becking, 1979). *Azolla* est hétérosporé. La symbiose est maintenue durant le cycle sexuel. Les cellules d'*Anabaena*, notamment les akinètes (akinétospores) sont enfermées à l'intérieur des macrosporocarpes. Elles sont enfoncées dans une cavité sous le chapeau de l'indusie du macrosporange. Après fécondation de l'oosphère, un zygote se forme et se développe en sporophyte avec son algue associée.

3.3. Ecologie

Azolla est une plante fragile qui exige un certain nombre de facteurs pour vivre, pour se développer et pour croître. Parmi ces facteurs on peut citer : l'eau, la température, la lumière (Rahagarison, 2005). En effet l'*Azolla* est une plante aquatique qui ne résiste pas à un taux d'humidité inférieure à 60 %, elle est très sensible à la sécheresse et meurt en quelques heures si le sol s'assèche (Becking, 1979). La nutrition minérale d'*Azolla* est favorisée par une couche d'eau n'excédant pas 5 à 10 cm, puisque les racines sont proches du sol. Considérée comme une plante d'eau douce, l'*Azolla* ne supporte qu'un certain degré de salinité, allant de 0,05 à 0,1 %. Sa croissance s'arrête dans une solution contenant 1,3 % de sels (Haller *et al.*, 1974). En outre l'*Azolla* s'adapte à des conditions climatiques extrêmement variées. Elle peut survivre entre 15 °C et 40 °C (Rahagarison, 2005). Pour l'intensité lumineuse, en conditions thermiques optimales, la saturation est atteinte à environ 50 % de l'intensité maximale. La croissance reste cependant bonne même aux intensités lumineuses maximales (Becking, 1979). De plus l'*Azolla* est particulièrement tolérant en ce qui concerne le pH du milieu. Il survit dans une gamme allant de pH 3,5 à 10 et sa croissance est pratiquement identique de pH 4,5 à 7 (Ashton, 1974). Pour ce qui concerne le besoin nutritionnel, nous pouvons retenir le besoin en minéraux d'*Azolla* comprend les macroéléments (P, K, Ca, Mg et Mn) et les microéléments (Fe, Mo, Co). Les carences en ces éléments entraînent une diminution de la croissance (Becking, 1979). Mais la caractéristique la plus remarquable dans ce domaine nutritionnel est l'indépendance totale à l'égard de la source d'Azote. *Azolla* croît parfaitement en absence d'azote combiné (Van hove *et al.*, 1983).

3.4. Importance d'Azolla en agriculture

Azolla est utilisé comme engrais azoté pour le riz, de plus il est considéré comme aliment pour animaux d'élevage tels que : canards, poules, porcs et même poissons (FAO, 1978). Ainsi un certain nombre d'avantages secondaires a été attribué à *Azolla*, à savoir diminution des pertes d'eau par évaporation, effet herbicide dû au tapis d'*Azolla* qui empêche les plantules de mauvaises herbes de croître, réduction de la prolifération des moustiques, amélioration de la texture du sol (Rahagarison, 2005). Ces applications ne sont pas seules possibles. En effet, des recherches sont entreprises en vue d'évaluer le potentiel d'utilisation d'*Azolla*. Pour cela l'*Azolla* est exploité en agriculture comme engrais verts pour des cultures sur terre ferme après compostage, il est aussi une matière première pour digesteur biométhane.

4. ENGRAIS MINÉRAUX (NPK)

4.1. Définition

Les engrais NPK représentent une formule classique de fertilisant qui correspond à l'abréviation des éléments chimiques qui les composent, à savoir azote, phosphore, potassium. Hormis l'oxygène, les 3 composants sont devenus la base des engrais chimiques sous forme de sels solubles directement assimilables, permettant d'obtenir de gros rendements mais avec des risques importants de lessivage vers les nappes phréatiques et les cours d'eau. L'engrais le plus polyvalent a un dosage identique pour les 3 valeurs (10-10-10) alors qu'un engrais fort sera plutôt 20-10-10, correspondant pour chacun des composants au pourcentage de la masse.

4.2. Rôles des principaux éléments minéraux

4.2.1. Azote (N)

C'est un élément de croissance dont l'excès doit être évité notamment en phase de floraison et de fructification. L'azote (N) favorise surtout la pousse des parties vertes de la plante (tiges et feuilles), leur précocité et leur développement. Toutefois sa carence est à l'origine de branches courtes, rabougries et peu nombreuses avec des petites feuilles déformées (Mitra, 1990). La couleur de ces dernières évolue progressivement du vert clair à un vert plus ou moins jaunâtre et elles se détachent prématurément. De plus les fruits sont petits, maigres et chloroses.

4.2.2. Phosphore (P)

C'est un élément de stabilisation de la plante (croissance racinaire) et de fructification. Il doit être optimisé en phase de développement (floraison - fructification). Le phosphore (P) joue sur la formation des fleurs et des graines et sur le développement racinaire. Il renforce la résistance naturelle des plantes aux agressions. En cas de carence de cet élément, Mitra (1990)

dans sa description des symptômes trouve que les feuilles sont petites, resserrées et incurvées de l'intérieur. Les vieilles feuilles jaunissent avec des bords roses. Les fruits sont déformés. D'où, une nutrition correcte de cet élément influence positivement la résistance de la plante à certaines maladies.

4.2.3. Potassium (K)

C'est aussi un élément de croissance et de fructification dont la disponibilité peut être influencée par de fortes teneurs en sodium du sol (cas des sols salés). La potasse (K) permet la floraison et le développement des fruits et de tous les organes de réserve tels que les racines et les tubercules. La coloration des fleurs et des fruits est améliorée ainsi que la résistance aux maladies. Sa carence perturbe la croissance de la plante. Le nombre de feuilles est très réduit,

Deuxième partie : Matériel et Méthodes

1. MATERIEL

1.2. Présentation du site d'étude

L'étude a été conduite durant la première saison pluvieuse à la ferme expérimentale de L'Université Jean Lorougnon de Daloa. Daloa appartient à la Région du Haut-Sassandra située au Centre Ouest de la Côte d'Ivoire entre 6°53'58'' de latitude Nord et 6°26'32''W de longitude Ouest a une superficie de 15 205 km² pour une population estimée à 245 360 habitants (INS, 2014). La région est limitée au Nord par la Région du Wôrôdogou, au Sud par les Régions du Gôh et de la Nawa, à l'Ouest par la Région du Guémon et à l'Est par celle de la Marahoué. La région du Haut-Sassandra est dominée par une Végétation constituée en grande partie de forêt dense (Koffie & Kra, 2013). Quant au relief, il est composé de Plaines avec un sol de type ferrallitique (Koffie & Kra, 2013). Le climat est caractérisé par quatre saisons dont une grande saison des pluies allant d'Avril à mi-Juillet, une petite saison sèche de mi-Juillet à mi-Septembre, une petite saison des pluies de mi-Septembre à Novembre et la grande saison sèche de Décembre à Mars (N'Guessan *et al*, 2014). L'hygrométrie est importante avec une température moyenne annuelle de 26 °C (N'Guessan *et al*, 2014).

1.3. Matériel biologique

Le matériel biologique est constitué de matériel fertilisant biologique composé de Champignons mycorhiziens et de l'*Azolla* et de matériel végétal constitué de piment de variété big sun (*Capsicum chinense*) (Figure 7).



Azolla



Boîte de semences de piment

Figure 7: Matériel biologique utilisé pour réaliser l'étude

1.4. Matériel fertilisant minéral

Il est constitué de NPK 15-15-15



Figure 8 : Fertilisant minéral

1.5. Matériel technique

Le matériel technique de cette étude est constitué d'une machette qui a permis de faire le défrichage de la parcelle, d'une daba pour la mise en place des billons, d'un pied à coulisse qui a servi à prendre la mesure du diamètre au collet des plants, d'un ruban mètre pour mesurer la hauteur des plants ainsi que la largeur et la longueur des feuilles (Figure 8).

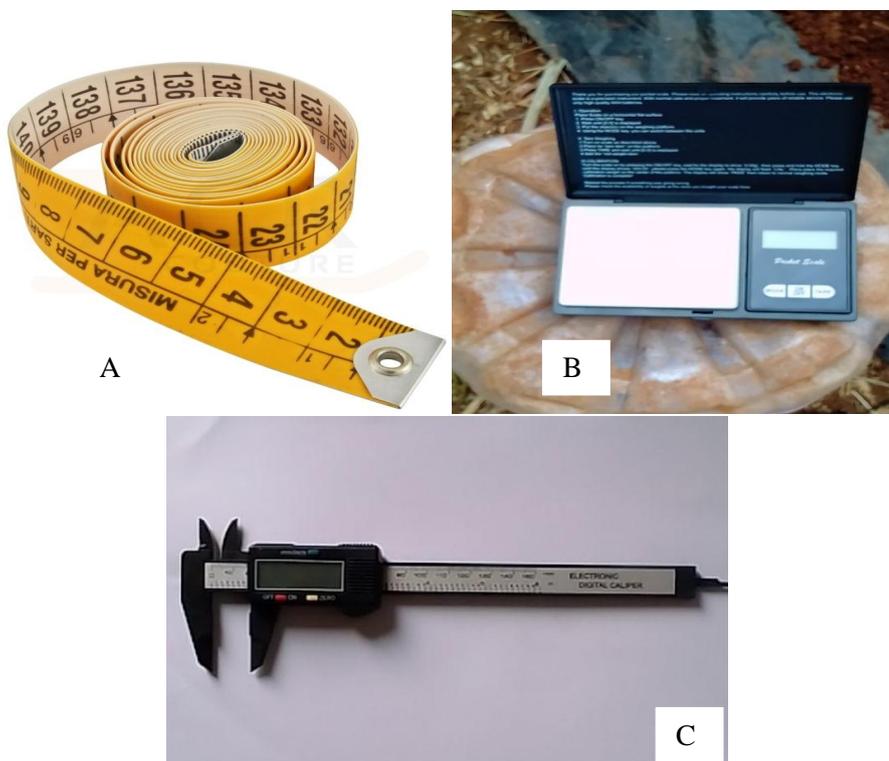


Figure 9 : Matériel technique utilisé :

A, un ruban mètre ; B, une balance ; C, un pied à coulisse

2. METHODES

2.1. Préparation du terrain et le planting

Après le défrichage d'une parcelle de 15 m² environ, le sol a été ameubli avec un labour léger. Les pierres et les débris végétaux ont été enlevés pour permettre l'aération, l'humidification et le drainage du sol. Le sol de planting a été sarclé. Les billons de 2 m x 0,5 m ont été préparés. Le repiquage a été réalisé à raison d'un pied de piment par poquet. Les plants de piments ont été repiqués 33 jours après le semis. Lors du repiquage, les plants de piments ont été repiqués à 7 cm de hauteur avec 5 feuilles au maximum. Pendant le repiquage direct, chaque billon a reçu 12 pieds de piment dont 10 pieds sont disposés sur deux lignes de 2 m de longueur séparées les unes des autres d'un intervalle de 50 cm et les deux autres pieds de piment sont mis aux deux sommets du billon. Le repiquage s'est fait à 50 cm entre les lignes et 40 cm entre les plants (50 cm×40 cm). Les mesures des paramètres végétatifs ont été menées sur 10 pieds de piments de chaque billon. Un arrosage et un désherbage régulier ont été effectués pour assurer la protection des plants.

2.2. Installation de la pépinière

La pépinière a été faite avec trois planches de bidon de 25 L dans lesquels du sable a été mélangé avec l'humus (Figure 9). Un arrosage régulier a été effectué chaque jour pour assurer la germination des semences. La germination a été observée 08 jours après le semis.



Figure 10 : Planches à pépinière de piment

2.3. Application des fertilisants

L'application a concerné quatre types de fertilisants (Figure 10). Les champignons mycorhiziens, la combinaison CM-*Azolla*, NPK et l'*Azolla*.

Les grosses particules des champignons mycorhiziens ont été réduites en particules fines dans un récipient. Les champignons mycorhiziens ont été utilisés à raison de 150 g par poquet. L'*Azolla* a été utilisé à 50 g par poquet. Concernant le mélange champignons mycorhiziens et l'*Azolla*, il été utilisé à 50 g par poquet. Le NPK a été épandue à 1,5 g dans un rayon de 8 cm autour du pied de piment. Tous les fertilisants utilisés ont été appliqués lors du repiquage direct à 33 jours après le semis.

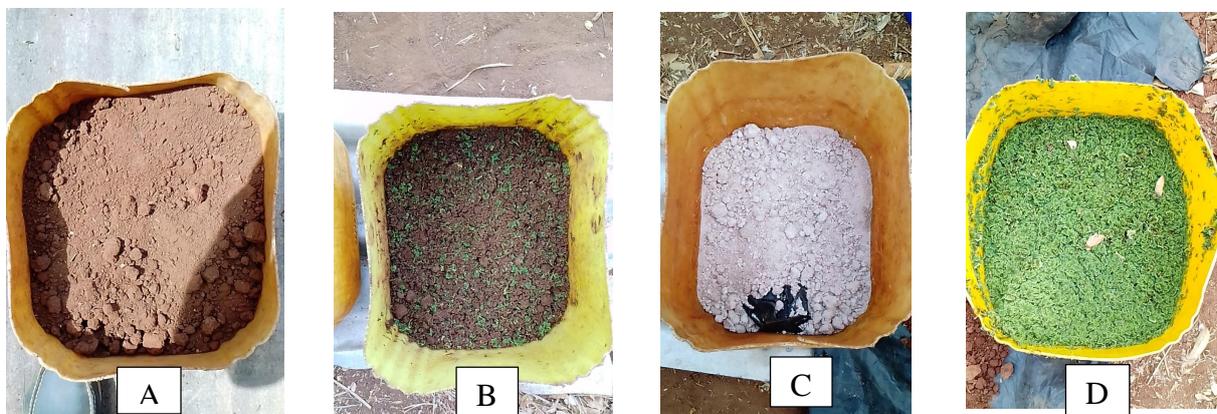


Figure 11 : Les fertilisants utilisés :

A, CM ; B, CM-*Azolla* ; C, NPK ; D, *Azolla*

2.4. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est constitué de deux blocs aléatoires complets répétés deux fois (Figure 11). Une allée de 1 m de largeur sépare les répétitions (blocs). Chaque bloc regorge cinq billons sur lesquels s'est fait le repiquage. Ainsi, on dénombre dans chaque bloc 60 pieds de piment soit 120 pieds sur toute la parcelle. L'expérimentation a comporté 5 traitements que sont :

- T0 : Les plants de piments sur les billons n'ayant reçu ni Champignons mycorhizien, ni *Azolla*, ni NPK ;
- T1 : Les plants de piments sur les billons ayant reçu Champignons mycorhiziens uniquement ;
- T2 : Les plants de piments sur les billons ayant reçu *Azolla* uniquement ;

- T3 : Les plants de piments sur les billons ayant reçu à la fois Champignons mycorhiziens et Azolla ;
- T4 : Les plants de piments sur les billons ayant reçu le NPK.

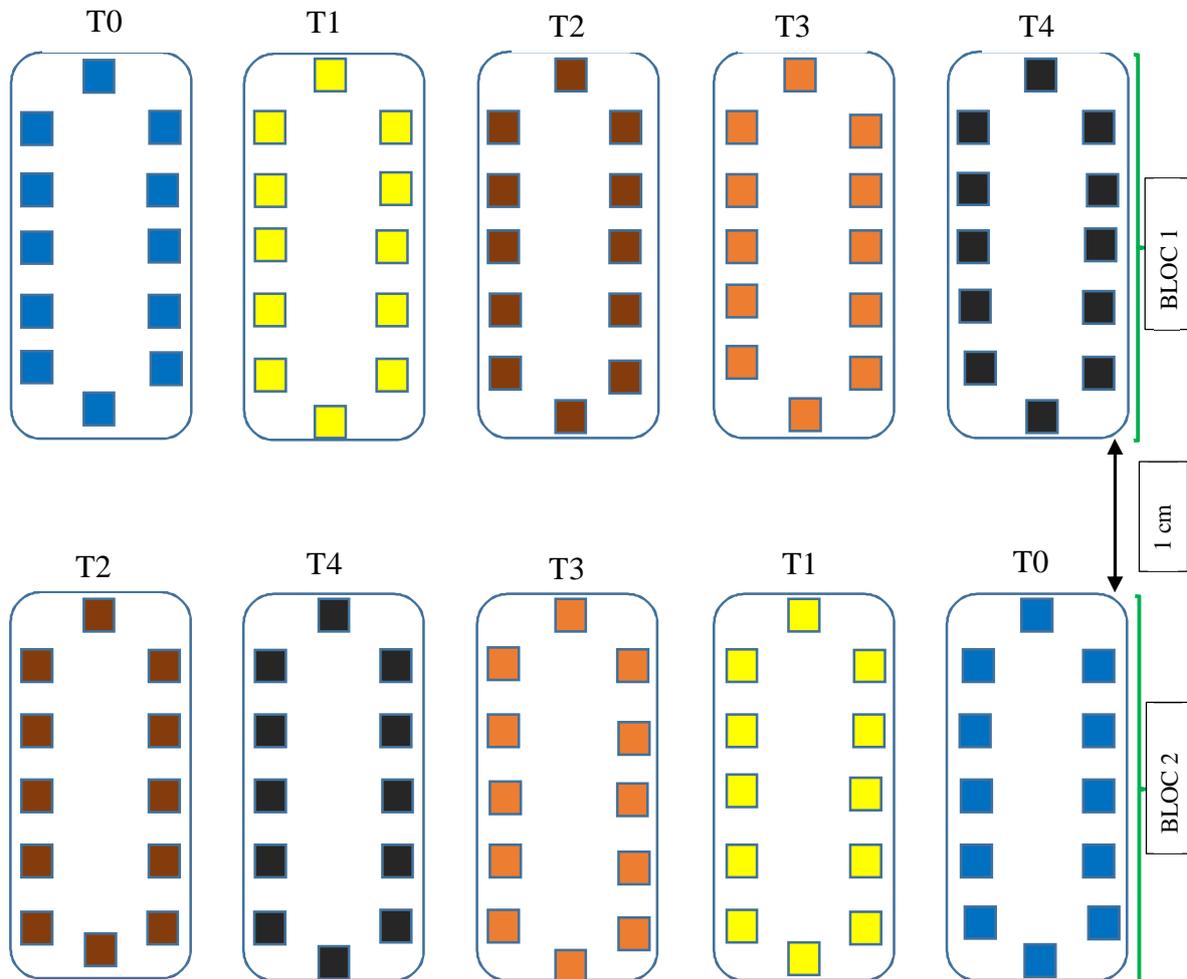


Figure 12 : Dispositif expérimental

2.5. Collette des données

Chaque semaine après repiquage, les paramètres végétatifs ont été mesurés. Ces paramètres concernent le diamètre au collet, le nombre de feuilles, la hauteur des plants, la largeur et la longueur. Le diamètre au collet a été mesuré avec un pied à coulisse tandis que la hauteur des plants, la largeur et la longueur des feuilles ont été mesurées avec un ruban mètre. Deux mois après le repiquage, les paramètres de production qui sont le nombre de fleurs, le

nombre de fruits et le poids des fruits ont été pris. La pesée des fruits a été effectuée lors de la récolte trois mois après le repiquage pour un traitement.

2.6. Analyse des données

L'analyse a porté sur les paramètres de croissance des plants et les paramètres de production des plants. Le traitement des données a été effectué à l'aide de logiciel STATISTICA 7.1 à un seul facteur de classification pour l'analyse statistique des données. Le Test de Newman-Keuls a été réalisé pour classer les différents traitements en groupes homogènes, lorsqu'une différence significative a été observée au seuil de 5 %.

Troisième partie : Résultats et discussion

1. RESULTATS

1.1. Effet des traitements sur le développement végétatif des plants de piment

Les données relatives à l'effet des différents traitements sur le développement des plants sont présentées dans le Tableau I. Les moyennes des paramètres de croissance observées au niveau du traitement *Azolla* sont largement supérieures à celles observées au niveau des autres traitements (Témoin, CM et CM-*Azolla*). Par contre les moyennes des paramètres de croissance observées au niveau du traitement combinaison CM-*Azolla* sont inférieures à celles observées au niveau des autres traitements. L'analyse de la variance (ANOVA) effectuée au niveau des paramètres agronomiques a montré une différence statistique très hautement significative au niveau du nombre des feuilles (NF), de la hauteur des plantes (HaP), du diamètre au collet (LaC), de la largeur et la longueur des feuilles au seuil 5 % du test de Newman-Keuls ($P < 0,001$). Par ailleurs le test d'homogénéité de groupe montre que les moyennes observées au niveau du nombre des feuilles, de la Hauteur des plantes, du diamètre au collet, la largeur et la longueur des feuilles ne sont pas significativement différentes.

1.1.1. Nombre des feuilles

Le tableau I indique que le nombre des feuilles des plants de piments varie selon les traitements. Dans les cinq traitements, l'*Azolla* a favorisé l'émission de plusieurs feuilles sur les plants de piments par rapport aux autres traitements ($25,82 \pm 7,53$ cm). De plus, les plants de piment n'ayant pas reçus de traitements (Témoin) ont eu de nombreuses feuilles que le traitement CM, NPK et CM-*Azolla*. Cependant il ressort que le traitement avec CM et le NPK favorise moyennement l'augmentation en nombre de feuilles des plants de piment ($11,48 \pm 4,98$ cm et $14,26 \pm 10,46$ cm). Quant au traitement CM-*Azolla*, il n'agit pas efficacement dans la fructification des feuilles des plants de piment ($9,22 \pm 2,57$ cm). Ainsi, selon l'analyse statistique, il ressort qu'il y'a une différence significative entre le nombre de feuilles avec les traitements ($P < 0,05$).

1.1.2. Hauteur des plantes

L'action des différents traitements en fonction de la croissance en hauteur des plants de piments est présentée dans le tableau I. Il a été noté que l'action des différents traitements a influencé plus ou moins la croissance en hauteur des plants de piment. Néanmoins, l'action de l'*Azolla* a plus influencé positivement la croissance en hauteur des

plants de piment ($18,73 \pm 5,25$ cm). Contrairement à l'augmentation en nombre de feuilles, le NPK agit favorablement sur la croissance en hauteur de piment après l'*Azolla*.

1.1.3. Diamètre au collet

Le diamètre au collet des plants de piment issus des différents traitements est consigné dans le tableau I. Le traitement *Azolla* a eu un effet plus important sur la circonférence des pieds de piment par rapport aux autres traitements ($5,79 \pm 0,93$ cm). Les autres traitements tels que, le Témoin, CM, CM-*Azolla* et le NPK ont eu approximativement les mêmes effets sur la circonférence des pieds de piment. Chaque traitement appliqué a augmenté significativement la croissance en largeur des plants de piment ($P < 0,05$).

1.1.4. Largeur des feuilles

L'élargissement des feuilles varie de $1,79 \pm 1,18$ cm à $6,28 \pm 1,45$ cm. Il ressort que le traitement *Azolla* a plus favorisé l'élargissement des feuilles des plantes de piments. Après le traitement *Azolla*, le NPK permet d'obtenir un élargissement important des feuilles. Les traitements Témoin, champignons mycorhiziens, et association champignons mycorhiziens- *Azolla* entraînent l'élargissement des feuilles de la même manière. Cependant les données statistiques indiquent que l'association champignons mycorhiziens-*Azolla* n'entraîne pas efficacement l'élargissement des feuilles ($1,79 \pm 1,18$ cm). L'analyse statistique montre une différence significative au niveau de la croissance en largeur des feuilles au seuil 5 % du test de Newman-Keuls ($P < 0,001$)

1.1.5. Longueur des feuilles

L'action des différents traitements sur la croissance en longueur des feuilles des plants de piment est présentée dans le tableau I. Les différents traitements apportés ont influencé la croissance en longueur des feuilles. Hormis l'association champignons mycorhiziens- *Azolla*, l'utilisation séparément des fertilisants biologiques (champignons mycorhiziens et *Azolla*) permet une bonne élongation des feuilles ($9,92 \pm 2,49$ cm et $5,09 \pm 3,38$ cm). L'utilisation de fertilisant minéral NPK favorise aussi bien la croissance en longueur des feuilles ($5,82 \pm 3,68$ cm). L'analyse statistique montre une différence significative au niveau de la croissance en longueur des feuilles au seuil 5 % du test de Newman-Keuls ($P < 0,001$).

Tableau I: Evaluation des traitements sur les paramètres végétatifs des plants de piments

Traitements	Caractères végétatifs				
	NF	HaP (cm)	LaC (mm)	LaF (cm)	LoF (cm)
T0	18,12±5,82 ^b	10,614±3,61 ^a	3,03±0,87 ^a	2,97±1,48 ^a	5,10±2,33 ^a
T1	11,48±4,98 ^{ab}	10,88±4,43 ^a	3,11±1,41 ^a	2,87±2,01 ^a	5,09±3,38 ^a
T2	25,82±7,53 ^c	18,73±5,25 ^c	5,79±0,93 ^b	6,28±1,45 ^c	9,92±2,49 ^c
T3	9,22±2,57 ^a	7,73±2,72 ^a	2,36±0,73 ^a	1,79±1,18 ^a	3,33±2,13 ^a
T4	14,26±10,46 ^{ab}	13,52±5,97 ^a	3,49±1,78 ^a	3,47±2,40 ^a	5,82±3,68 ^a
F	9,18	20,64	11,79	9,14	7,28
P	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

T0 : Les plants de piments sur les billons n'ayant reçu ni Champignons mycorhizien, ni *Azolla*, ni NPK ;

T1 : Les plants de piments sur les billons ayant reçu Champignons mycorhiziens uniquement ;

T2 : Les plants de piments sur les billons ayant reçu *Azolla* uniquement ;

T3 : Les plants de piments sur les billons ayant reçu à la fois Champignons mycorhiziens et *Azolla* ;

T4 : Les plants de piments sur les billons ayant reçu le NPK.

NF : Nombre des feuilles ; HaP : Hauteur de la plante ; LaC : Le diamètre au collet de la plante ; LoF : Longueur de la feuille ; LaF : La largeur de la feuille ; les moyennes d'une colonne suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (Test de Newman-Keuls)

1.2. Effets des traitements sur les paramètres de la production du piment

Les données relatives à l'effet des différents traitements sur le développement des plants sont présentées dans le tableau II. Il ressort globalement que les moyennes observées au niveau des paramètres de production varient en fonctions des traitements. L'analyse statistique montre une différence significative au niveau du nombre de fleurs (Nflr), du nombre de fruits (Nfr) du poids des fruits (Poids) au seuil 5 % du test de Newman-Keuls ($P < 0,001$).

1.2.1. Nombre de fleurs

Le nombre moyen de fleurs épanouies des plants de piment est présenté dans le tableau II. Le nombre moyen minimal de fleurs est observé au niveau des plants ayant reçu le traitement association champignons mycorhiziens-*Azolla* ($2,52 \pm 3,02$), tandis que la valeur maximale est enregistrée au niveau des plants avec l'*Azolla* ($17,03 \pm 12,09$). Dans l'ensemble les différents traitements ont eu un effet significatif sur le nombre de fleurs ($P < 0,05$).

1.2.2. Nombre de fruits

Le tableau II montre que le nombre moyen de fruits varie de $0,7 \pm 0,97$ à $8,2 \pm 5,08$. Les plants de piments ayant reçu l'apport de NPK produisent moins de fruits ($0,7 \pm 0,97$), contrairement aux autres plants qui ont été traités avec *Azolla* ($8,2 \pm 5,08$).

1.2.3. Poids des fruits

Le poids moyen des fruits des plants de piment en fonction des traitements est consigné dans le tableau II. Le poids moyen enregistré au niveau du traitement *Azolla* est plus élevé ($33,60 \pm 22,66$ g), tandis que le poids moyen obtenu au niveau du traitement NPK reste très faible ($1,78 \pm 2,40$ g). Concernant le traitement CM, Témoin et CM-*Azolla*, le poids des fruits est plus ou moins élevé. L'analyse statistique montre que les différents traitements ont eu un effet très significatif sur le poids des fruits ($P = 0,000$)

Tableau II: Evaluation des traitements sur la production des plants de piments

Traitements	Paramètres de production		
	Nflr	Nfr	Poids
T0	7,63±6,43 ^a	2±1,27 ^a	5,80±4,17 ^a
T1	6,43±7,61 ^a	2,1±2,77 ^a	6,66±8,04 ^a
T2	17,03±12,09 ^c	8,2±5,08 ^c	33,60±22,66 ^c
T3	2,52±3,02 ^a	0,95±1,14 ^a	2,44±1,71 ^a
T4	5,35±6,46 ^a	0,7±0,97 ^a	1,78±2,40 ^a
F	5,11	12,77	14,69
P	0,002	0,001	0,000

T0 : Les plants de piments sur les billons n'ayant reçu ni Champignons mycorhizien, ni *Azolla*, ni NPK ;

T1 : Les plants de piments sur les billons ayant reçu Champignons mycorhiziens uniquement ;

T2 : Les plants de piments sur les billons ayant reçu *Azolla* uniquement ;

T3 : Les plants de piments sur les billons ayant reçu à la fois Champignons mycorhiziens et *Azolla* ;

T4 : Les plants de piments sur les billons ayant reçu le NPK.

Nfl : Nombre de fleur ; Nfr : Nombre ; Poids des fruits ; les moyennes d'une colonne suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (Test de Newman-Keuls)

2. DISCUSSION

Les différents traitements sur les paramètres de croissance des plants de piments ont été évalués. Les résultats ont montré que le nombre de feuilles, la hauteur de la plante, le diamètre au collet, la largeur et la longueur des feuilles ont varié significativement en fonction des traitements. *Azolla filiculoides* représente le meilleur fertilisant par rapport au témoin, aux Champignons mycorhiziens, au NPK et à la combinaison CM-*Azolla*. L'utilisation de *Azolla filiculoides* en milieu de culture a augmenté significativement la croissance des plants de piment. Ces résultats sont en accord avec ceux de Grogga *et al.*, (2018) qui ont rapporté que les fertilisants à base de *Azolla filiculoides* favorisent une augmentation de la hauteur et du diamètre au collet des plants. Selon Brasset *et al.*, (2005) l'*Azolla* a une quantité importante d'éléments d'azote et de phosphore, ces éléments sont indispensables à la croissance et au développement des plantes et agissent immédiatement sur le développement du feuillage et sur la production des plants. En effet, l'*Azolla* abrite une cyanobactérie du genre *Anabaena* qui a la propriété de fixer l'azote, c'est-à-dire de transformer l'azote moléculaire de l'atmosphère en azote assimilable par la plante. L'azote est un des principaux facteurs absorbé sous forme de nitrate NO_3^- et d'ammonium NH_4^+ par la plante (Layzell, 1990). L'*Azolla* libère aussi des minéraux progressivement, ce qui assure leur disponibilité au bon moment à la plante. William (2003), révèle que l'azote stimule la croissance de la partie aérienne de la plante.

Les effets des traitements sur l'évolution du nombre des feuilles, du diamètre au collet des plants, de la croissance en hauteur des plants, de la croissance en largeur et en longueur des feuilles des plants de piments révèlent que les deux fertilisants biologiques (CM et *Azolla*) utilisés séparément ont eu un effet sur la croissance des plants de piments. Ces résultats corroborent avec ceux de Zaoui & Brun (2011). Ils témoignent que les fertilisants biologiques permettent d'augmenter l'efficacité de la fertilité du sol et donc la croissance de la plante. Selon Hamza (2014), les mycorhizes en s'associant aux racines des plantes, facilitent un meilleur développement des racines permettant ainsi aux plantes de mieux se nourrir. Les études de Cardenas (2010) ont montré que les plants ayant subi une inoculation aux champignons mycorhiziens seraient plus efficaces dans l'utilisation des nutriments du sol et donc dans la croissance de la plante. Cependant, la combinaison CM-*Azolla* n'est pas bénéfique sur la croissance des plants du piment. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les effets de la combinaison des deux fertilisants ont été

influencés par les conditions physicochimiques du milieu tels que, la température, l'humidité, le pH ou la fertilisation (Caron & Lambert. 2002). Les résultats obtenus au cours de cette étude sont en accord avec ceux de Hibar *et al* (2007) et Perrin (1985). Hibar *et al.* (2007) ont montré que les paramètres physico chimiques peuvent avoir un pouvoir d'inhibition sur la croissance mycélienne des champignons mycorhiziens associés. Par ailleurs, Perrin (1985), a montré que l'utilisation unique des champignons mycorhiziens a un avantage sur l'amélioration de la fertilité du sol et la surface absorbante du système racinaire permettant ainsi à la plante de se nourrir. Mais lorsque les champignons mycorhiziens sont associés un autre type de fertilisants en milieu réel, ces avantages disparaissent (Souna *et al.*, 2010).

La bonne croissance des plants de piment observée au niveau du traitement témoin pourrait s'expliquer par le fait que le sol de l'expérimentation est chimiquement riche en minéraux permettant aux plants de piments de croître rapidement. Selon Schafer (1999), chimiquement le sol renferme des éléments disponibles pour la culture en place.

Les paramètres de production, les biofertilisants *Azolla filiculoides* et les champignons mycorhiziens apportés aux plants de piments, ont plus favorisé le rendement du piment par rapport au NPK, CM-*Azolla* et Témoin. Le nombre moyen de fruits des plants de piment traité avec *Azolla filiculoides* est plus élevé que les autres traitements. *Azolla filiculoides* a permis aussi aux plants de piment d'avoir des fruits de poids plus élevés. Ces résultats sont conformes à ceux de Fondio *et al.*, (2013) qui ont montré que l'application de biofertilisants à base de *Azolla filiculoides* respectivement sur le piment permet d'obtenir un nombre plus important de fruits. Ce rendement élevé pourrait se justifier par l'apport de l'azote sous forme organique par le traitement avec *Azolla filiculoides*. Par ailleurs, selon les travaux de Thomas *et al.*, (2004) et Kitabala *et al.*, (2016) la fertilisation en azote affecte tous les paramètres contribuant à l'obtention d'un bon rendement.

La faible productivité obtenue au niveau du traitement avec NPK pourrait s'expliquer par le fait que le fertilisant minéral NPK ne présente que trois éléments primaires des engrais (Azote, Phosphore et Potassium). Ces résultats peuvent être attribués à la libération rapide de ces éléments fertilisants (l'azote, le phosphore, et le potassium). L'engrais minéral est utilisé pour corriger rapidement les carences. Cependant, la minéralisation rapide de ce traitement peut entraîner l'infiltration des minéraux dans les

horizons inférieurs du sol qui deviennent alors inaccessibles aux racines. Il est donc nécessaire d'y apporter des matières organiques. L'apport d'engrais minéraux seuls ne peut pas maintenir à long terme la productivité des sols à cause du lessivage et de la dégradation des propriétés des sols (Giller *et al.*, 2002) et Alvarez (2005). Pour ces auteurs, la matière organique (fertilisants organiques) est le meilleur fertilisant de base.

Les plants de piment n'ayant pas reçu de traitements (Témoin) ont donné un rendement satisfaisant après les traitements avec fertilisants biologiques (*Azolla filiculoides* et CM). Ce résultat pourrait se justifier par la structure même de la plante de piment. Le piment a une croissance végétative de type indéterminée et un système racinaire superficiel et peu pivotant ; et tant que la zone racinaire contient un bon régime hydrique et des éléments nutritifs nécessaires et en quantité suffisante, il continue de fleurir et de fructifier (Obiagwu & Odiaka, 1995) et (Guohua *et al.*, 2001).

Conclusion et perspectives

CONCLUSION

Pour pallier au problème de la pauvreté des sols, il a été expérimenté, l'action des biofertilisants comme *Azolla filiculoides*, et champignons mycorhiziens sur la restauration de la fertilité du sol, capables de doter ce dernier en nutriments nécessaires à l'amélioration du rendement des cultures maraîchères. Une parcelle, repartie en blocs randomisés avec deux (2) répétitions par traitement avaient servi pour l'expérimentation. Ainsi, cinq (5) traitements ont été réalisés. Le traitement témoin, le traitement avec *Azolla filiculoides*, le traitement avec CM, le traitement avec la combinaison CM-*Azolla*, et le traitement avec le NPK. Ces traitements ont été appréciés en tenant compte de la croissance en diamètre et en longueur des plants de piment, du nombre de feuilles, du nombre de fleurs, du nombre de fruits et du poids des fruits. A l'issue de l'expérimentation, suivant les paramètres considérés, seul le traitement à base d'*Azolla* a été excellent sur la croissance en diamètre et en longueur, en nombre de feuilles en nombre de fleurs, en nombre de fruits et en poids des fruits. Les analyses statistiques entre les différents traitements et le témoin, ont permis de savoir que le fertilisant à base d'*Azolla* avait influencé tous les paramètres. *Azolla filiculoides* a montré sa capacité à restaurer la fertilité du sol par sa richesse en nutriment capable d'augmenter le rendement de piment de variété big sun. Toutefois, il a été observé dans que l'association Champignons mycorhiziens +*Azolla* ne donne pas un rendement meilleur du piment.

Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes sur la culture de piment à croissance indéterminée. En effet, l'étude d'*Azolla* dans d'autres Régions sur le piment de variété *Big sun* permettrait de confirmer son efficacité. Des essais au cours de toute l'année permettraient de connaître les périodes favorables et défavorables du fertilisant *Azolla* sur la culture de piment.

Références

REFERENCES

- Aliyu L. (2000). Effect of organic and mineral fertilizers on growth, yield and composition of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Biological Agriculture & Horticulture*, 18 (1) : 29-36.
- Alvarez R. (2005). A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management*, 21 : 38-52.
- Arvy M.P. & Gallouin F. (2003). Épices, aromates et condiments, *coll. Botanique*, Paris, France, 412 p.
- Ashton P.J. (1974). The effect of some environmental factors on the growth of *Azolla filiculoides* Lam, The Orange River E.M.V. Zinderen-Bakker (ed.), Progress Report, Bloemfontein, South Africa : 123-138.
- Athanasίου A., Smith P.A. & Vakilpour S. (2007). Vanilloid receptor agonists and antagonists are mitochondrial inhibitors : how vanilloids cause non-vanilloid receptor mediated cell death. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 354 (1) : 50-55.
- Azcon-Aguilar C. & Barea J.M. (1996). Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens – an overview of the mechanisms involved, *Mycorrhiza*, 6 (6) :457-464
- Barea. J. M. (2013). Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. *Advances in soil Sciences*, 15 : 1-40
- Becking J.H. (1979). Environmental requirements of *Azolla* for use in tropical rice production, Nitrogen and Rice. *International rice Research Institute*. Los Banos, Laguna, Philippines, 345-374.
- Billing J. & Sherman P.W. (2010). Antimicrobial functions of spices: why some like it hot. *The Quarterly review of biology*, 73 (1) : 3-49.
- Birlouez E. (2020). Petite et grande histoire des légumes, Quæ, coll. Carnets de sciences. Ces légumes que nous devons au Nouveau Monde, Piments et poivrons : chaudes couleurs. Edition QUAE, Paris, France, 123-131.
- Bonaccio M. & Di Castelnuovo A. (2019). Costanzo S. Chili pepper consumption and mortality in Italian adults. *Journals of the American College of Cardiology*, 74 :3139-3149
- Borowicz V. A. (2001). Do Arbuscular mycorrhizal fungi alter plant–pathogen relations ? *Ecology*, 82 (11) : 3057-3068
- Bort A., Sanchez B.G., Mateos-Gomez P.A., Diaz-Laviada I. & Rodriguez-Henche N. (2019). Capsaicin targets lipogenesis in HepG2 cells through AMPK activation, AKT

- inhibition and PPARs regulation, *International Journal of Molecular Sciences*, 20:1660-1667
- Cardenas R. E. (2010). La mycorhization favorise-t-elle l'accès à des formes d'azote complexes ? Étude sur la nutrition du pin parasol (*Pinus pinea*). Centre National de la Recherche Scientifique. Université François Rabelais de Tour (Tour, France), 72 p.
- Chaux C. & Foury C. (2007). Productions Légumières. Tome 3 : Légumineuses potagères - Légumes fruits. Coll. *Agriculture d'aujourd'hui : Sciences, Techniques, Applications. Tec & Doc*. Lavoisier, Paris, France. 563 p.
- Chopan M. & Littenberg B. (2017). The association of hot red chili pepper consumption and mortality: à large population-based cohort study, *PLoS One*, 12: 69-876
- Desai B.B., Kotecha P.M. & Salunkhe D.K. (1997). *Seeds handbook : biology, production, processing and storage*. Marcel Dekker, Inc., New York, USA, 627 p.
- Evrard C. & Van Hove C. (2004). Taxonomy of the American *Azolla* species : a critical review. *Louvain-la-Neuve, Belgium* : 301-317.
- FAO (1978). La multiplication de l'*Azolla* et son utilisation dans l'agriculture. *Bulletin pédologique* 41, FAO, (Rome, Italie), 68 p.
- FAO (1987). Guide sur les engrais et la nutrition des plantes. *Service des engrais et de la nutrition azotée*, Rome, Italie, 190 p.
- Fazekas B., Tar A. & Kovács M. (2005). Aflatoxin and ochratoxin A content of spices in Hungary. *Food additives and contaminants*, 22 (9) : 856-863.
- Fondio L., Djidji H. A., N'gbesso F. P. M. & Kone D. (2013). Evaluation de neuf variétés de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) par rapport au flétrissement bactérien et à la productivité dans le Sud de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 7(3) : 1078-1086
- Fortin A., Plenchette C. & Piché Y. (2008). "Les mycorhizes, la nouvelle révolution verte", quae, Paris, France, 96 p.
- Francis H. (2009). Des feuilles souterraines ? *Alliage*, 64 : 90-95
- Francis M. (2010). Plantes et champignons, des associations à bénéfice réciproque, *Conférence à la Cité des Sciences et de l'Industrie*, 26 p.
- Garbaye J. (2013). La symbiose mycorhizienne, Editions Quae, Paris, France, 121 p.
- Giller K. E., Cadisch G. & Palm C. (2002). The NorthSouth divide : Organic wastes or resources of nutrient management. *Agronomy*, 22 : 703-709.

- Groga N., Akedrin T.N., Dro B., Kouadio K.P.F., Akafou D.S., Kouadio Y.J. & Allassane O. (2018). Contribution des biotechnologies à la sécurité alimentaire : cas du biofertilisant organique (symbiose *Anabaena-Azollae*, *Azolla filiculoides*) sur la fertilisation et le développement d'*Oryza sativa* (riz CB-one) en Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied studies*, 23 : 1155-1165.
- Guohua X., Wolf S. & Kafkafi U. (2001). Effect of varying nitrogen form and concentration during growing season on sweet pepper flowering and fruit yield. *Journal of Plant Nutrition*, 24 (7) : 1099 - 1116.
- Haller W.T., Sutton D.L. & Barlome W.C. (1974). Effects of salinity on the growth of several aquatic macrophytes. *Ecology*, 55 : 891-894.
- Hamza N. (2014). Application des mycorhizes arbusculaires en culture maraîchère cas de la pastèque (*Citrullus lanatus*). Université Ferhat Abbas Sétif, El Bez, Algérie, 83 p.
- Helgason T., Daniell T. J., Husband R., Fitter A. H & Young J. P. W. (1998). Ploughing up the wood-wide web ? *Nature*, 394(6692) : 394-431.
- Hibar K., Daami-Remadi M. & El Mahjoub M. (2007). Effets de certains fongicides de synthèse et biologiques sur la croissance mycélienne et l'agressivité de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Tropicultura*, 25 (3) : 146-152.
- Hsu C.L. & Yen G.C. (2007). Effects of capsaicin on induction of apoptosis and inhibition of adipogenesis in 3T3-L1 cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (5) : 1730–1736.
- INS (Institut National des Statistiques) (2014). Recensement général de la population et de l'habitat. Résultats globaux, Abidjan, 22p.

- Jacqueline M., Chaparro V., Dayakar B., Matthew G., Bakker, Daniel K. & Jorge M. (2013). Root Exudation of Phytochemicals in Arabidopsis Follows Specific Patterns That Are Developmentally Programmed and Correlate with Soil Microbial Functions. *PLOS ONE*, 8(2) : 55-731.
- Kabir Z., O'Halloran I.P., Fyles J.W & Hamel C. (1997). « Seasonal changes of arbuscular mycorrhizal fungi as affected by tillage practices and fertilization : Hyphal density and mycorrhizal root colonization », *Plant and Soil*, 192(2) : 285-293
- Kaho F., Yemefack M., Feujo-Teguefouet P. & Tchantchaouang J. C. (2011). Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun. *Tropiculture*. 29 (1) : 39-45.
- Kennedy P. G., Izzo A. D. & Bruns T. D. (2003). « There is high potential for the formation of common mycorrhizal networks between understorey and canopy trees in a mixed evergreen forest » *Journal of Ecology*, 91(6) :1071-1080
- Kenneth F. K. (2000). The Cambridge World History of Food, Cambridge University Press, Oakland, Californie (États-Unis), 285 p.
- Kermit C. (1977) The role of oxalic acid and bicarbonate in calcium cycling by fungi and bacteria : some possible implications for soil animals, *Ecological Bulletins*, 25 : 246-252.
- Kitabala M. A., Tshala U. J., Kalenda M. A., Tshijika I. M. & Mufind K. M. (2016). Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba, RD Congo. *Journal of applied Biosciences*, 102 : 9669-9679.
- Koffie B.C.Y. & Kra K.S (2013). La région du Haut Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire. Institut de Géographie Tropical. Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody. *Revue de Géographie Tropicale et Environnement*, (Abidjan, Côte d'Ivoire), 9p.
- Laumonier R. (2013). Les cultures légumières et maraîchères, tome III. 3e édition. Collection *Encyclopédie Agricole* Editions J-B. Baillière, Paris, France, 276 p
- Layzell D. B. (1990). N₂ fixation NO₃⁻ reduction and NH₄⁺ assimilation, assimilation in the thermophilic anaerobes *Clostridium thermosaccharolyticum* and *Clostridium thermoautotrophicum* : Plant physiology, biochemistry and molecular biology. *Archives of Microbiology*, 144(1) : 389-413.

- Luc R. (2020). « Manger pimenté permettrait de vivre plus longtemps », sur *lejournaldumedecin.com*, (consulté le 19 novembre 2022).
- Marc A. S. & Guillaumin J.J. (2005). De la germination à l'âge adulte : les champignons symbiotiques des orchidées, M. Bournérias & D. Prat (ed.), *Orchidées de France, Belgique et Luxembourg* : 34-44.
- Marc A. S. (2016). « Existe-t-il des plantes sans symbiose ? », *Les Amis du Muséum National d'Histoire Naturelle, Publication trimestrielle. Les Amis du Muséum*, (266), 24p.
- Marc A. S. (2017). *Jamais seul. Ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations*, Éditions Actes Sud (Arles, France), 171p
- Marc A. S., Franck R. & Pierre-Emmanuel C. (2007). « Plantes et champignons : l'alliance vitale ». *La Recherche*, 411 : 59 p.
- Margaret. L. R. (2012), The Effect of Mycorrhizae on Plant Growth and Reproduction Varies with Soil Phosphorus and Developmental Stage. *The American Midland Naturalist* 167(1) : 28- 39.
- Mathew A., Gangadharan P., Varghese C. & Nair M.K. (2000). Diet and stomach cancer : à case-control study in South India. *European Journal of Cancer Prevention*, 9 (2) : 89-97.
- Messiaen C.M. (2011). *Le potager tropical, tome 2 : cultures spéciales*. Collection « *Techniques vivantes* ». Presses Universitaires de France, 197 p.
- Milke P., Diaz A., Valdovinos M.A. & Moran S. (2006). Gastroesophageal reflux in healthy subjects induced by two different species of chili (*Capsicum annum*). *Digestive diseases*, 24 (1-2) : 184–8.
- N'Guessan A. H., N'Guessan K. F., Kouassi K. P., Kouamé N. N. & N'Guessan P. W. (2014). Dynamique des populations du foreur des tiges du cacaoyer, *Eulophonotus myrmeleon*. Felder (Lépidoptères : Cossidae) dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire, 9p.
- Nelson C. E. (2009). The water relations of vesicular arbuscular mycorrhizal systems. In Safir G. R., ed : *Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants*, Boca Raton, CRC Press (Floride, Etats Unis), 41 p.
- Norman J.R. & Hooker J.E. (2000). « Sporulation of *Phytophthora fragariae* shows greater stimulation by exudates of non-mycorrhizal than by mycorrhizal strawberry roots », *Mycologia*, 104 : 1069-1073.
- Obiagwu C.J. & Odiaka N. I. (1995). Fertilizer schedule for yield of fresh fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis*) grown in lower Benue river basin of Nigeria. *International Journal of Agricultural Science*, 65 (2) : 98 - 101.

- Ousmane S. (2019). Enquête sur la culture du piment local dans la région de Biskra : Conduite et Biodiversité. Mémoire de Master, Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et la vie, Université Mohamed Khider Bistra (Bistra, Algérie), 57p
- Perrin R. (1985). L'aptitude des mycorhizes à protéger les plantes contre les maladies. Panacée ou chimère ? *Annales des sciences forestières*, 42 (4) : 453-470.
- Perry L. (2007). Starch fossils and the domestication and dispersal of chili pepper (*Capsicum spp.* L.) in the Americas. *Science*, 315(1) : 986-988.
- Pulgar G., Villora G. & Moreno D. A. (2000). Effect of Nitrogen and potassium on the ionic balance in *Capsicum* plants (*Capsicum annuum* L. cv. Lamuyo). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31 (11-14) : 2321 -2328.
- Rahagarison (2005). « Etude bibliographique de l'Azolla ou la « ramilamina » plante fertilisatrice d'Azote (N₂) ». TALOHA, un journal d'étude anglophone, 19 p.
- Razavi R., Chan Y. & Afifiyan F.N. (2006). TRPV1+ sensory neurons control beta cell stress and islet inflammation in autoimmune diabetes. *Cell*, 127 (6) : 1123–35.
- Schafer J.L. (1999). Amélioration du système de culture de Macabo, *Xanthosoma sagittifolium* (L) Schott, en pays Bamiléké (Ouest Cameroun). *Cahier Agriculture*, 8 (1) : 9-20.
- Souna F., Chafi A., Chakroune K., Himri I., Bouakka M. & Hakkou A. (2010). Effect of mycorrhization and compost on the growth and the protection of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) against Bayoud disease. *American-Eurasian Journal of Sustainable agriculture*, 4 (2) : 260-267
- Suzanne W. S., David A. P., Melanie D. J. & David D.M. (1997) « Net transfer of C between ectomycorrhizal tree species in the field », *Nature*, 388 (6642) :579-582.
- Tacon F., Garbaye J. & Carr G. (2008). The use of mycorrhizas in tropical forests. In Tress and mycorrhiza, Proceedings of the Asian Seminar, 13-17 April 2008, Kuala Lumpur, Ed. F. S. Ngp, pp 15-32
- Thomas C.D., Cameron A. & Grenn R.E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427 (6970) : 145 – 148.
- Van der Heijden M. G., Martin F.M., Selosse M.A. & Sanders I.R. (2015). « Mycorrhizal ecology and evolution : the past, the present, and the future ». *New Phytologist*, 205 (4) : 1406-1423.

- Van hove C., Diara H.F. & Godard P. (1983). *Azolla* en Afrique de l'Ouest (ADRAO, Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest), Abidjan, Côte d'Ivoire, 52 p.
- William G. (2003). Physiologie végétale. Edition De Boeck Université, rue des minimes 39, B-1000 Bruxelles, Belgique, 110-115.
- Yolande Dalpé. (2005) « Les mycorhizes : un outil de protection des plantes mais non une panacée », *Phytoprotection*, 86 (1) : 53-59.
- Zaoui E. & Brun G. (2011). Efficience de la fertilisation : nouveau défi pour l'agriculture moderne. Revue professionnelle des filières fruits et légumes ; Agriculture du Maghreb, 139 p.

RESUME

La présente étude a pour objectif général d'utiliser les champignons mycorrhiziens (*Rhizophagus intraradices*) et de l'*Azolla* (*Azolla filiculoides*) comme biofertilisant pour améliorer la production du piment en milieu naturel. Les paramètres évalués sont la croissance végétative et la productivité des plants du piment. L'essai est réalisé en bloc complet randomisé de cinq traitements (*Azolla filiculoides*, Champignons mycorrhiziens, association de champignons mycorrhiziens avec *Azolla*, NPK et le Témoin) en deux répétitions. Les doses utilisés pour chaque traitement sont les traitements *Azolla* et association CM-AZOLLA de 50 g par poquet, le traitement CM de 150 g par poquet et la dose de NPK à 1,5 g au tour des plants. Les traitements ont été comparés suivants les paramètres végétatifs tels que la hauteur des plants (HaP), le diamètre du collet (LaC), le nombre des feuilles (Nf), la largeur des feuilles (LaF) et la longueur des feuilles (LoF). Les paramètres de production ont concerné le nombre des fleurs (Nflr), le nombre des fruits (Nfr) et le poids des fruits. Les résultats statistiques ont montré que les différents traitements ont eu un effet significatif sur la croissance et la production des plants de piments au seuil de 5 % avec le test de newman-Keuls. Hormis le traitement CM-AZOLLA, les fertilisants biologiques (*Azolla filiculoides* et CM) ont donné un résultat satisfaisant. Cependant, les paramètres importants ont été observés avec le traitement *Azolla filiculoides*. Cette étude montre que l'*Azolla filiculoides* donne un rendement important, restaure une bonne fertilité du sol et permet d'accroître la productivité du piment.

Mots clés : Piment, Biofertilisants, Fertilisant minéral, paramètres végétatifs, production.

ABSTRACT

The general objective of this study is to use mycorrhizian fungi (*Rhizophagus intraradices*) and *Azolla* (*Azolla filiculoides*) as biofertilizer to improve the production of pepper in the natural environment. The parameters evaluated are the vegetative growth and the productivity of the pepper plants. The trial is carried out in a complete randomized block of five treatments (*Azolla filiculoides*, mycorrhizal fungi, association of mycorrhizal fungi with *Azolla*, NPK and the Control) in two repetitions. The doses used for each treatment are : the *Azolla* and CM-AZOLLA combination treatments received 50 g per pocket, the treatment with CM is 150 g per pocket and the dose of NPK applied is 1.5 g around the plants. The treatments were compared according to the vegetative parameters: plant height (HaP), collar diameter (LaC), number of leaves (Nf), leaf width (LaF) and leaf length (LoF). The production parameters concern the number of flowers (Nflr), the number of fruits (Nfr) and the weight of the fruits. The statistical results showed that the different treatments had a significant effect on the growth and production of pepper plants at the 5% threshold. Apart from the treatment with CM-AZOLLA combination, biological fertilizers (*Azolla filiculoides* and CM) gave a satisfactory result. However the important characteristics were observed with the *Azolla filiculoides* treatment. In conclusion, this study shows that *Azolla filiculoides* gives a high yield, restores good soil fertility and increases the productivity of the pepper crop.

Keywords : Chilli, Biofertilizers, Mineral fertilizer, vegetative parameters, production.